



TESIS - 142599

PEMODELAN KANAL JARINGAN AREA TUBUH NIRKABEL PADA FREKUENSI 3,1 GHz UNTUK LINGKUNGAN *INDOOR*

KURNIA PARANITA KARTIKA R
07111650030004

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng. Ph.D

Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT

PROGRAM MAGISTER

BIDANG KEAHLIAN TELEKOMUNIKASI MULTIMEDIA

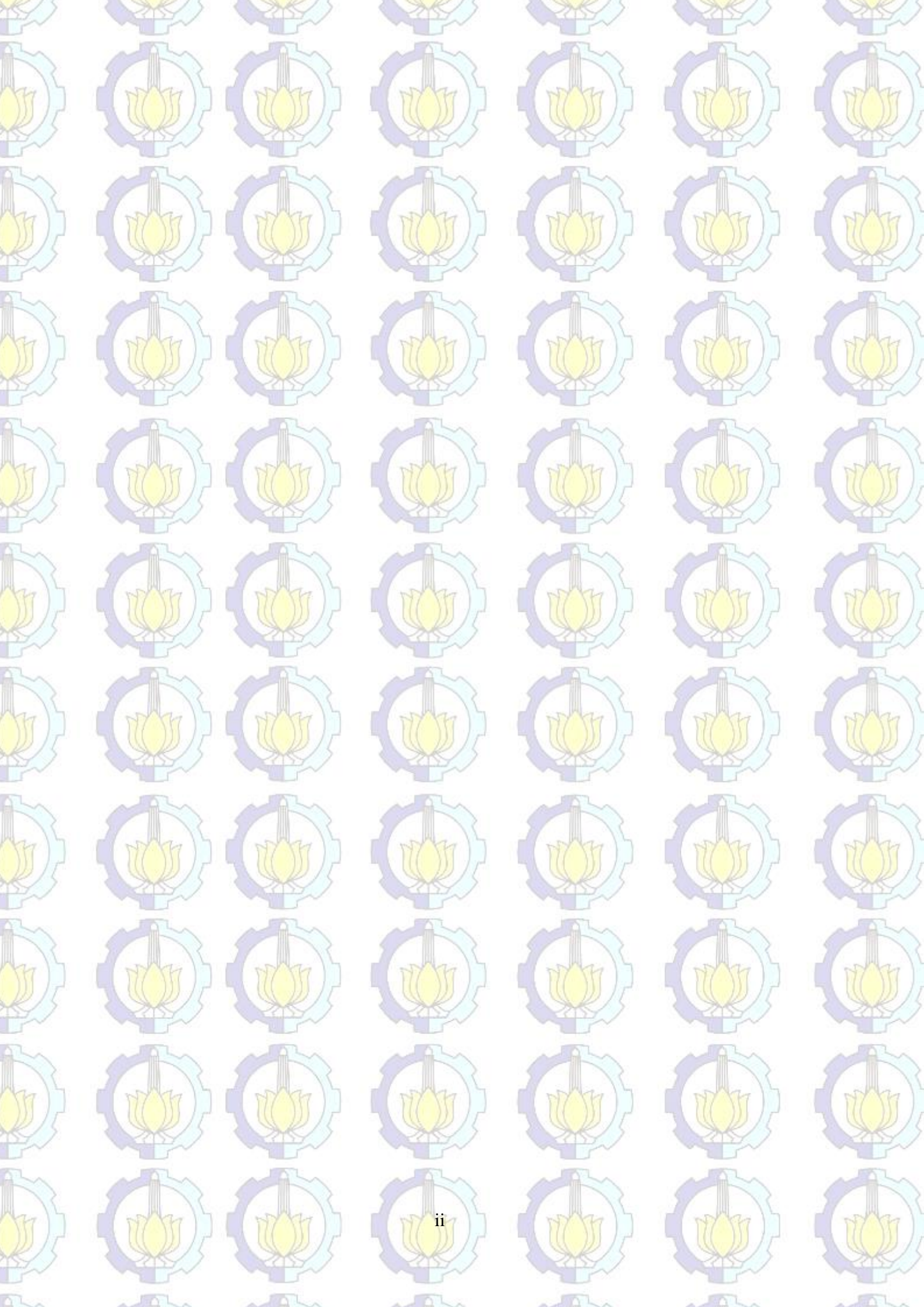
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2018





TESIS - 142599

**PEMODELAN KANAL JARINGAN AREA TUBUH
NIRKABEL PADA FREKUENSI 3,1 GHz UNTUK
LINGKUNGAN *INDOOR***

KURNIA PARANITA KARTIKA R
07111650030004

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng. Ph.D

Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT

PROGRAM MAGISTER

BIDANG KEAHLIAN TELEKOMUNIKASI MULTIMEDIA

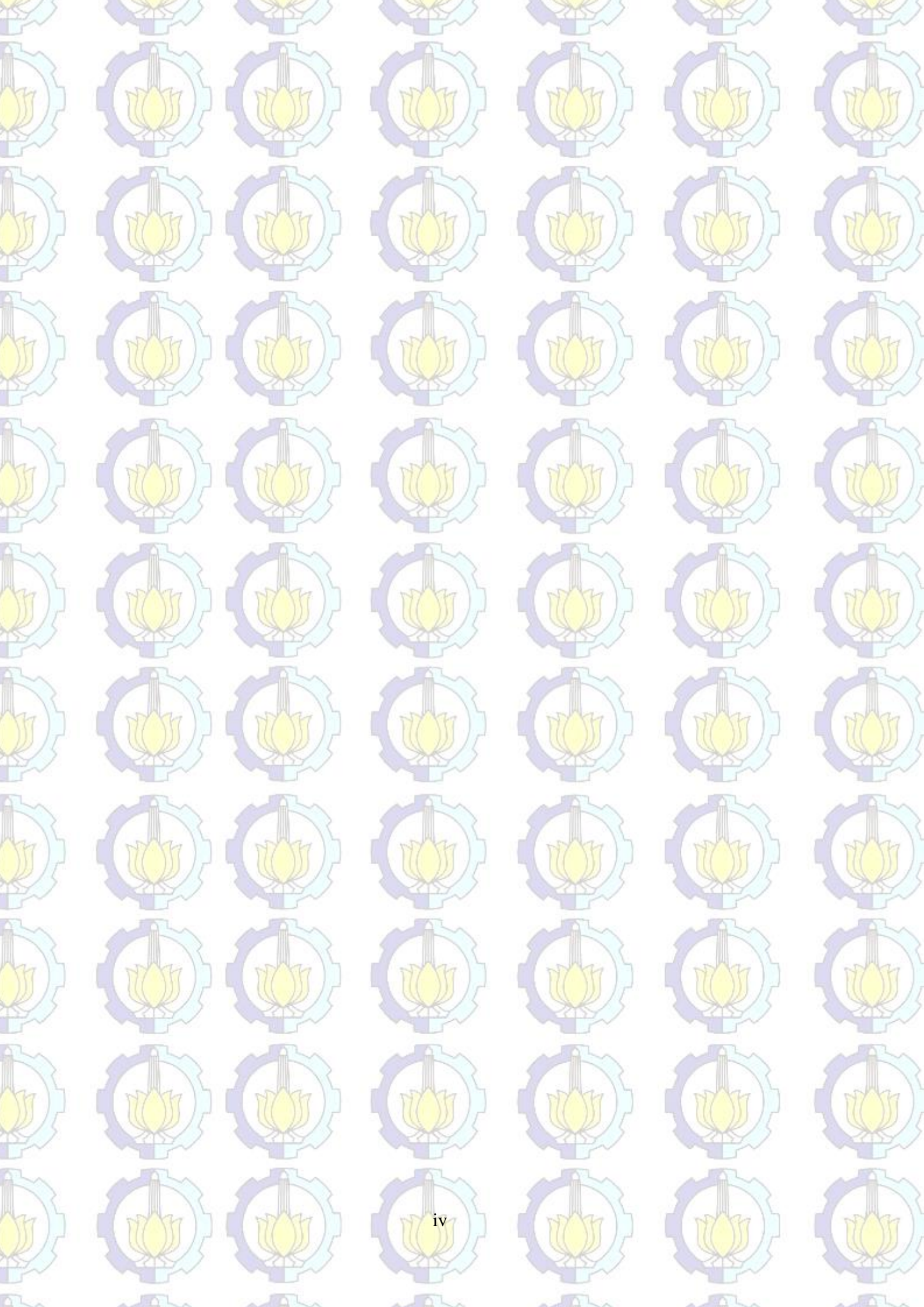
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2018



LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T)

di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Kurnia Paranita Kartika Riyanti
NRP. 07111650030004

Tanggal Ujian : 21 Desember 2017
Periode Wisuda : Maret 2018

Disetujui oleh:

1. Prof. Ir. Gamantyo Bendorotro, M.Eng., Ph.D
NIP: 197011111993031002

(Pembimbing I)

2. Dr. Ir. Achmad Mauladiyanto, MT
NIP: 196109031989031001

(Pembimbing II)

3. Dr. Ir. Titiek Suryani, MT
NIP: 196411301989032001

(Penguji)

4. Dr. Ir. Sawadit, M.T
NIP: 196808181993031002

(Penguji)

5. Eko Setijadi, S.T., M.T., Ph.D
NIP: 197210012003121002

(Penguji)

Dekan Fakultas Teknologi Elektro



Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T.
NIP: 197002121995121001



Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tesis saya dengan judul **"PEMODELAN KANAL JARINGAN AREA TUBUH PADA FREKUENSI 3,1 GHz UNTUK LINGKUNGAN *INDOOR*"** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 4 Desember 2017



Kurnia Paramita Kartika R

NRP: 07111650030004



Halaman ini sengaja dikosongkan

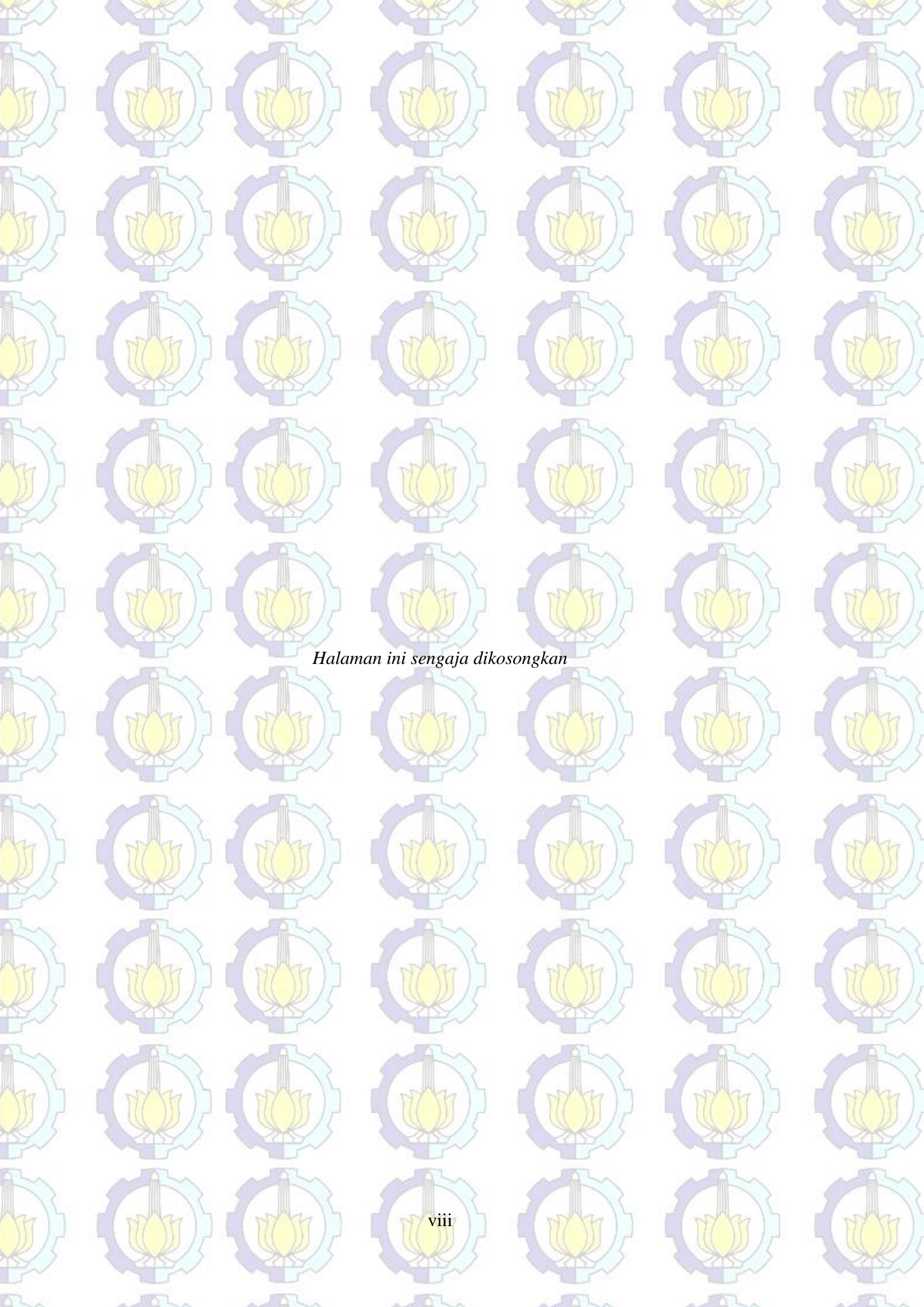
PEMODELAN KANAL JARINGAN AREA TUBUH NIRKABEL PADA FREKUENSI 3,1 GHz UNTUK LINGKUNGAN *INDOOR*

Nama mahasiswa : Kurnia Paranita Kartika R
NRP : 07111650030004
Pembimbing : 1. Prof. Ir. GamantyoHendrantoro, M.Eng.Ph.D
2. Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT

ABSTRAK

Pada wireless body area network (WBAN), propagasi radio dari *node* sensor yang berada di permukaan tubuh manusia sangat kompleks dan unik bila dibandingkan dengan propagasi lingkungan karena tubuh manusia memiliki bentuk yang kompleks dan terdiri dari jaringan tubuh yang berbeda-beda. Oleh karena itu, model kanalnya juga berbeda dengan model kanal di lingkungan. Pada penelitian ini akan dilakukan pemodelan kanal pada WBAN untuk mendapatkan bentuk kanal yang sesuai dengan memperhitungkan propagasi yang ditimbulkan oleh tubuh manusia dan lingkungan *indoor*. Adapun parameter pemodelan kanal yang dicari adalah *pathloss* model, *Power Delay Profile* (PDP), *mean excess delay* dan *RMS delay spread*. Pada Channel Model 3 (CM3) jaringan area tubuh nirkabel diperoleh hasil semakin berat aktivitas yang dilakukan oleh bagian tubuh tertentu maka akan menghasilkan nilai *pathloss* yang besar serta sebaliknya, semakin ringan aktivitas yang dilakukan oleh bagian tubuh tertentu, maka *pathloss* yang dihasilkan akan semakin kecil. Pada pemodelan PDP untuk link komunikasi baik *on body to body surface* maupun *on body to external node* didapatkan nilai PDP yang bervariasi dalam orde ratusan nS hingga mikro sekon, *delay* pada kanal tubuh tidak sebanding dengan jarak. Nilai delay maksimum yang di dapatkan sebesar 3,6364 μ S. Dari perhitungan parameter statistik diketahui bahwa model kanal jaringan area tubuh nirkabel cenderung pada model *flat fading* karena tidak terdapat perubahan kanal yang signifikan.

Kata kunci: WBAN, model kanal, respon impuls kanal, *pathloss*, *power delay profile*



Halaman ini sengaja dikosongkan

CHANNEL MODELLING OF WIRELESS BODY AREA NETWORK AT 3.1 GHz FOR INDOOR ENVIRONMENT

By : Kurnia Paranita Kartika R
Student Identity Number : 07111650030004
Supervisor(s) : Prof.Ir.GamantyoHendrantoro, M.Eng.Ph.D
Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT

ABSTRACT

In wireless body area network (WBAN), radio propagation of the sensor nodes on the surface of the human body is very complex and unique when compared with environmental propagation because the human body has a complex shape and consists of different body tissues. Therefore, the channel model also differs from the channel model in the environment. In this research will be modeling the canals on the WBAN to get the appropriate channel shape by taking into account the propagation caused by the human body and the indoor environment. The channel modeling parameters are pathloss model, Power Delay Profile (PDP), mean excess delay and RMS delay spread. In Channel Model 3 (CM3) the wireless body area network obtained the result of the heavier activity performed by a particular body part will result in a large pathloss value and vice versa, the lighter the activity performed by a particular body part, then the resulting pathloss will be smaller. In PDP modeling for communication links both on body to body surface and on body to external node obtained PDP values that vary in the order of hundreds of nS to micro sekon, delay on the body channel is not proportional to the distance. Maximum delay value obtained at 3.6364 μ S. From the statistical parameters calculation, it is known that the model of wireless area area network channel tend to be flat fading model because there is no significant channel change.

Key words: WBAN, channel model , Channel impyuls respons , pathloss, power delay profile

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan buku tesis yang berjudul :

“PEMODELAN KANAL JARINGAN AREA TUBUH NIRKABEL PADA FREKUENSI 3,1 GHz UNTUK LINGKUNGAN INDOOR”

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat akademik Program Magister Jurusan Teknik Elektro , Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Banyak pihak telah memberikan bantuan selama penulis menempuh pendidikan di Jurusan Teknik Elektro ITS ini, karena itu penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada :

1. Bapak Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D., beliau yang telah memperkenalkan topik tesis ini, memberikan ide, masukan, bimbingan dan koreksi.
2. Bapak Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT., beliau yang telah memberikan bimbingan, ide, masukan, dan motivasi.
3. Bapak Dr. Ir. Suwadi, MT., selaku dosen wali yang telah memberikan arahan dan masukan selama perkuliahan.
4. Bapak/ Ibu dosen pengajar di Program studi Telekomunikasi Multimedia
5. Suami, orang tua, adik dan anak-anak saya atas motivasi dan doa-doanya yang selalu menyertai saya dalam setiap langkah.
6. Anggota tim HF dan Propagasi (Umaisaroh, Bu Indah, Rosabela, Rizal, Pak Bambang) atas bantuan dan kerja sama serta motivasi yang diberikan.
7. Anggota Lab Antena dan Propagasi (Pak Petrus, Risdillah, Fannush, Muttaqin) atas segala bantuan dan semangatnya.
8. Teman-teman seperjuangan TMM angkatan 2016 (Nurul, Ajeng, Dara, Endah) atas segala bantuan dan kerjasamanya.
9. Semua pihak yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan buku ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan buku tesis ini, sehingga segala kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan untuk menyempurnakan tesis ini. Selain itu, penulis berharap ada kelanjutan penelitian lain sehingga tesis ini dapat bermanfaat.

Surabaya, 4 Desember 2017

Penulis,

Kurnia Paranita Kartika R

NRP. 07111650030004

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Kontribusi	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	7
2.1 Pendahuluan	7
2.2 Kajian Penelitian Terkait	7
2.3 Teori Dasar	9
2.3.1 Jaringan Area Tubuh Nirkabel	9
2.3.2 Karakteristik Kanal Tubuh	15
2.3.3 Fading	15
2.3.4 <i>Pathloss</i>	16
2.3.5 <i>Shadowing</i>	17
2.3.6 Respon Impuls kanal	18
2.3.7 Antena	20
2.3.8 <i>Vector Network Analyzer (VNA)</i>	31
2.3.9 <i>Matrix Laboratory (MATLAB)</i>	33
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	37
3.1 Pendahuluan	37
3.2 Diagram <i>Fishbone</i> Penelitian	38
3.3 Skema Penelitian	39

3.4	Sistem Pengukuran	40
3.4.1	Antena <i>Microstrip Patch Rectangular</i>	41
3.4.2	Pengukuran Kinerja Antena <i>Microstrip Patch Rectangular</i>	45
3.4.3	Hasil Perhitungan Medan Radiasi Antena.....	51
3.4.4	<i>Vector Network Analyzer</i> (VNA) Agilent N9923A.....	52
3.5	<i>Set Up</i> Pengukuran	52
3.6	Skenario Pengukuran.....	56
3.6.1	Pengukuran Kanal Tubuh <i>On Body to Body Surface</i> (CM3)	57
3.6.2	Pengukuran Kanal Tubuh <i>On Body Surface to External Node</i> (CM4)	58
3.7	Proses Pengukuran dan Pengolahan Data	59
3.7.1	Pengolahan Data Hasil Pengukuran	60
3.7.2	Respon Impuls Kanal	65
3.7.3	Pengolahan Data PDP dan Parameter Statistik.....	66
3.7.4	Pengolahan Data <i>Pathloss</i>	67
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....		73
4.1	Pendahuluan	73
4.2	Hasil Pengukuran	73
4.2.1	Hasil Pengukuran <i>Pathloss</i> CM 3 (<i>On Body to On Body Surface</i>)..	73
4.2.2	Hasil Pengukuran <i>Pathloss</i> CM 4 (<i>On Body to External Node</i>).....	80
4.2.3	Hasil Pengukuran PDP CM3 (<i>On Body to Body Surface</i>).....	85
4.3	Pemodelan <i>Pathloss</i>	87
4.4	Pemodelan <i>Power Delay Profile (PDP)</i>	93
BAB 5 KESIMPULAN		97
5.1	Kesimpulan.....	97
5.2	Saran.....	98
DAFTAR PUSTAKA.....		99

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem U Health [11].....	9
Gambar 2.2 Sistem Komunikasi pada Sensor BAN[11].....	11
Gambar 2.3 Topologi Jaringan WBAN [11].....	11
Gambar 2.4 Teknologi Komunikasi WBAN [11].....	12
Gambar 2.5 Jalur Link Komunikasi WBAN[3].....	14
Gambar 2.6 Kategori Fading [3].....	15
Gambar 2.7 Respon Impuls Kanal Ht.....	18
Gambar 2.8 Konsep S-Parameter dengan dua terminal [13].....	21
Gambar 2.9 Pola radiasi antena[13].....	25
Gambar 2.10 Daerah Medan Antena [13].....	26
Gambar 2.11 Struktur Antena <i>Microstrip</i> [13].....	28
Gambar 2.12 Macam-Macam Bentuk Antena <i>Microstrip Patch</i> [13].....	29
Gambar 2.13 VNA Handheld Agilent N9923A.....	31
Gambar 2.14 <i>Command Window</i> MATLAB.....	34
Gambar 3.1 Diagram <i>Fishbone</i> Penelitian.....	38
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian.....	40
Gambar 3.3 Diagram Sistem Pengukuran.....	41
Gambar 3.4 Antena <i>Microstrip Patch Rectangular</i>	42
Gambar 3.5 Desain Antena <i>Microstrip</i>	43
Gambar 3.6 Nilai <i>Return Loss</i> Antena <i>Microstrip</i>	44
Gambar 3.7 Nilai VSWR Antena <i>Microstrip</i>	45
Gambar 3.8 Nilai Impedansi Input Antena <i>Microstrip</i>	45
Gambar 3.9 <i>Return Loss</i> Antena <i>Microstrip</i>	48
Gambar 3.10 <i>Losses Cable</i> sepanjang 60 cm.....	49
Gambar 3.11 <i>Losses Cable</i> sepanjang 100 cm.....	50
Gambar 3.12 Nilai VSWR Antena <i>Microstrip</i> Hasil Pengukuran dengan VNA..	50
Gambar 3.13 Posisi Tx dan Rx pada pengukuran Tampak Depan.....	54
Gambar 3.14 Foto Objek Pengukuran dengan skenario (LOS) dan NLOS.....	55
Gambar 3.15 <i>Set Up</i> Pemasangan Alat Ukur.....	55
Gambar 3.16 Layout Ruang pengukuran (Ruang B-305).....	56
Gambar 3.17 Diagram Alir Pengolahan Data Pengukuran.....	60
Gambar 3.18 Respon Frekuensi Kanal $H_{lp}(f)$	62
Gambar 3.19 Respon Frekuensi Kanal $H_{lp}(f)$	63
Gambar 3.20 Tampilan Window <i>Hamming</i> dalam domain frekuensi.....	64
Gambar 3.21 Hasil Perkalian $H_{lp}(f)$ Linear dengan $W(f)$	65
Gambar 3.22 Respon Impuls Kanal $H_t(\tau)$	65
Gambar 3.23 Grafik <i>Power Delay Profile</i> ($pdp(\tau)$).....	66

Gambar 3.24 Grafik <i>Pathloss</i> untuk Kondisi LOS terhadap Variasi Jarak pemancar Ke penerima	68
Gambar 3.25 Grafik <i>Pathloss</i> untuk Kondisi NLOS terhadap Variasi Jarak antara Tx dan Rx	70
Gambar 4.1 <i>Pathloss</i> pada Skenario Tidak Beraktivitas Kondisi LOS dengan Berbagai Variasi Jarak antara <i>Transmitter</i> ke <i>Receiver</i>	74
Gambar 4.2 <i>Pathloss</i> pada Skenario Tidak Beraktivitas Kondisi NLOS dengan Berbagai Variasi Jarak antara <i>Transmitter</i> ke <i>Receiver</i>	75
Gambar 4.3 <i>Pathloss</i> pada Skenario Berjalan untuk Kondisi LOS dengan Berbagai Variasi Jarak antara <i>Transmitter</i> ke <i>Receiver</i>	76
Gambar 4.4 <i>Pathloss</i> pada Skenario Berjalan untuk Kondisi NLOS dengan Berbagai Variasi Jarak antara <i>Transmitter</i> ke <i>Receiver</i>	77
Gambar 4.5 <i>Pathloss</i> pada Skenario Berlari untuk Kondisi LOS dengan Berbagai Variasi Jarak antara <i>Transmitter</i> ke <i>Receiver</i>	78
Gambar 4.6 <i>Pathloss</i> pada Skenario Berlari untuk Kondisi NLOS dengan Berbagai Variasi Jarak antara <i>Transmitter</i> ke <i>Receiver</i>	79
Gambar 4.7 <i>Pathloss</i> Tubuh dengan Variasi Ketinggian Pemancar (LOS) dengan Berbagai Variasi Jarak antara <i>Transmitter</i> ke <i>Receiver</i>	81
Gambar 4.8 <i>Pathloss</i> Media Kayu dengan Variasi Ketinggian Pemancar (LOS) dengan Berbagai Variasi Jarak antara <i>Transmitter</i> ke <i>Receiver</i>	82
Gambar 4.9 <i>Pathloss</i> Tubuh dengan Variasi Ketinggian Pemancar (NLOS) dengan Berbagai Variasi Jarak antara <i>Transmitter</i> ke <i>Receiver</i>	83
Gambar 4.10 <i>Pathloss</i> Media Kayu dengan Variasi Ketinggian Pemancar (NLOS) dengan Berbagai Variasi Jarak antara <i>Transmitter</i> ke <i>Receiver</i>	84
Gambar 4.11 Respon Magnitudo $H_{pp}(f)$ Hasil Pengukuran	85
Gambar 4.12 Respon Kanal $H_{lpw}(f)$ setelah dikalikan dengan Window <i>Hamming</i>	86
Gambar 4.13 Respon Impuls Kanal $H_t(\tau)$	86
Gambar 4.14 Grafik <i>Power Delay Profile</i> $pdp(\tau)$	87

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Skenario dan Deskripsi Komunikasi BAN[3].....	13
Tabel 2.2 Parameter Model Kanal On Body Surface.....	17
Tabel 2.3 Spesifikasi VNA Agilent N9923A.....	32
Tabel 3.1 Kriteria Antena <i>Microstrip Patch</i>	42
Tabel 3.2 Spesifikasi FR4 Epoxy.....	43
Tabel 3.3 Hasil perhitungan desain antena <i>Microstrip Patch Rectangular</i>	44
Tabel 3.4 Spesifikasi Vector Network Analyzer (VNA) Agilent N9923A	52
Tabel 3.5 Skenario Lokasi Pengukuran Kanal Tubuh untuk <i>Channel Model 3</i> (CM3).....	58
Tabel 3.6 Skenario Pengukuran Kanal Tubuh Berdasarkan Keanekaragaman Aktivitas	58
Tabel 3.7 Pengukuran Kanal dengan Ketinggian Antena Tx bervariasi untuk Channel Model 4 (CM4)	59
Tabel 3.8 Pengukuran Kanal dengan Media Tiang Kayu	59
Tabel 3.9 Sebaran Titik Pengukuran dan Jarak antara Pemancar dan Penerima ..	68
Tabel 3.10 Hasil Pengukuran <i>Pathloss</i> dengan Variasi Jarak (LOS)	69
Tabel 3.11 Hasil <i>Fitting</i> Pengukuran (LOS)	69
Tabel 3.12 Hasil Pengukuran <i>Pathloss</i> dengan Variasi Jarak (NLOS)	70
Tabel 3.13 Hasil <i>Fitting</i> Pengukuran (NLOS)	71
Tabel 4.1 Tabel <i>Pathloss</i> untuk Skenario Objek Tidak beraktivitas CM3	87
Tabel 4.2 Hasil <i>Fitting</i> Pengukuran Skenario Objek Tidak Beraktivitas CM3 (LOS)	88
Tabel 4.3 Hasil <i>Fitting</i> Pengukuran Skenario Objek Tidak Beraktivitas CM3 (NLOS).....	88
Tabel 4.4 Tabel <i>Pathloss</i> untuk Skenario Objek Beraktivitas Berjalan Naik Turun Tangga CM3	88
Tabel 4.5 Hasil <i>Fitting</i> Pengukuran Skenario Objek Beraktivitas Berjalan Naik Turun Tangga CM3 (LOS)	89
Tabel 4.6 Hasil <i>Fitting</i> Pengukuran Skenario Objek Beraktivitas Berjalan Naik Turun Tangga CM3 (NLOS).....	89
Tabel 4.7 Tabel <i>Pathloss</i> untuk Skenario Objek Beraktivitas Berlari Kecil dengan Lintasan Lurus CM3	89
Tabel 4.8 Hasil <i>Fitting</i> Pengukuran Skenario Objek Beraktivitas Berlari dengan Lintasan Lurus CM3 (LOS)	90
Tabel 4.9 Hasil <i>Fitting</i> Pengukuran Skenario Objek Beraktivitas Berlari dengan Lintasan Lurus CM3 (NLOS)	90
Tabel 4.10 Tabel <i>Pathloss</i> untuk Berbagai Ketinggian Pemancar pada CM4.....	91
Tabel 4.11 Hasil <i>Fitting</i> Pengukuran Skenario Ketinggian Antena Tx Bervariasi CM4 (LOS)	91

Tabel 4.12 Hasil <i>Fitting</i> Pengukuran Skenario Ketinggian Antena Tx Bervariasi CM4 (NLOS).....	91
Tabel 4.13 Tabel <i>Pathloss</i> untuk Berbagai Ketinggian Pemancar pada CM4	92
Tabel 4.14 Hasil <i>Fitting</i> Pengukuran Skenario Ketinggian Antena Tx Bervariasi dengan Media Tiang Kayu CM4 (LOS).....	92
Tabel 4.15 Hasil <i>Fitting</i> Pengukuran Skenario Ketinggian Antena Tx Bervariasi dengan Media Tiang Kayu CM4 (NLOS)	92
Tabel 4.16 PDP dan Parameter Delay Statistik CM 3 Skenario Tidak Beraktivitas	93
Tabel 4.17 PDP dan Parameter <i>Delay</i> Skenario Berjalan Naik Turun Tangga.....	94
Tabel 4.18 PDP dan Parameter <i>Delay</i> Skenario Berlari.....	94
Tabel 4.19 PDP dan Parameter <i>Delay</i> Channel Model 4 (CM4) dengan Receiver pada Tubuh Manusia	95
Tabel 4.20 PDP dan Parameter <i>Delay</i> Channel Model 4 (CM4) dengan Receiver Tiang Kayu	95

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang kesehatan telah banyak diterapkan komunikasi nirkabel untuk memantau kondisi kesehatan manusia secara berkala, perawatan pasca operasi, dan monitoring penyembuhan penyakit dari jarak jauh tanpa mengganggu aktivitas normal sehari-hari[1]. Hal ini mendukung mobilitas yang tinggi dan meningkatkan kenyamanan bagi pasien karena membebaskan mereka dari keharusan berada di rumah sakit, menurunkan biaya kesehatan dan meningkatkan efektifitas kerja. Perkembangan teknologi ini yang mendasari munculnya WBAN [2].

Dalam komunikasi WBAN terdapat beberapa frekuensi kerja yang dapat digunakan. Salah satunya adalah frekuensi *Ultra Wideband* (UWB) yang beroperasi pada rentang 3,1 GHz sampai 10,6 GHz[3]. Teknologi UWB menawarkan beberapa kelebihan diantaranya *link* komunikasi data tingkat tinggi, tingkat emisi daya rendah dan desain antena yang sederhana. Di sisi lain, teknologi UWB merupakan teknologi yang sangat cocok untuk jarak dekat sebagaimana komunikasi yang dibutuhkan dalam BAN serta memungkinkan untuk digunakan untuk sistem komunikasi *onbody*, *in-body* dan *off-body*[4].

Terdapat beberapa teknik pengukuran kanal jaringan area tubuh nirkabel antara lain sistem pengukuran dengan pulsa sensor dan *transducer* seperti yang dilakukan pada penelitian[5], pengukuran kanal pada domain frekuensi menggunakan VNA (*Vector Network Analyzer*) untuk mengukur *transfer function* kanal. Respon impuls kanal jaringan area tubuh nirkabel didapatkan dari perhitungan *transfer function* kanal dengan memanfaatkan parameter S21 yang diperoleh dari pengukuran dengan menggunakan VNA.

Sejumlah pengukuran yang berkaitan dengan WBAN telah dilakukan untuk mengkarakterisasi dan memodelkan propagasi kanal tubuh di lingkungan *indoor* maupun *outdoor*. Selain propagasi lingkungan, juga perlu diperhatikan

propagasi tubuh manusia. Dampak *multipaths* seperti pantulan gelombang dari lantai, dinding, plafon, ada tidaknya perabot serta ukuran ruangan merupakan contoh hal-hal yang mempengaruhi propagasi lingkungan *indoor*[6]. Sedangkan propagasi yang disebabkan oleh tubuh manusia diantaranya keberagaman aktivitas, usia, perubahan posisi tubuh, postur tubuh, hingga ketebalan pakaian[7].

Dari beberapa *study* literatur terkait dengan pemodelan kanal WBAN, maka penelitian dilakukan untuk membuat pemodelan kanal jaringan area tubuh dengan menggunakan antena *microstrip patch* dengan frekuensi 3,1 GHz pada lingkungan *indoor*. Pemilihan frekuensi 3,1 GHz dari rentang frekuensi yang tersedia untuk teknologi UWB yaitu 3,1-10,6 GHz pada penelitian ini dimaksudkan untuk mendapatkan nilai *pathloss* yang rendah, nilai *power delay profile* (PDP) rendah dan statistik delay yang rendah pula. Hal ini diharapkan dapat mendukung aplikasi WBAN dalam bidang kesehatan yakni memperoleh kecepatan data yang tinggi, tingkat emisi dan absorpsi daya rendah serta radiasi yang rendah pada tubuh.

Pemilihan antena *microstrip patch rectangular* pada penelitian ini memiliki beberapa tujuan antara lain mempunyai ukuran yang ringkas dan kecil, kemudahan dalam fabrikasi, bisa dilakukan perancangan dua polarisasi dan *multiband* frekuensi, mudah untuk di integrasikan dengan rangkaian gelombang mikro, memiliki *bandwidth* yang sempit serta sesuai digunakan untuk keperluan pemodelan kanal jaringan area tubuh di lingkungan *indoor*.

Dalam penelitian ini akan dilakukan pengukuran parameter kanal yang berupa *pathloss* (PL), *power delay profile* (PDP), dan nilai statistik *delay* kanal. Selain itu penelitian ini juga memperhitungkan propagasi yang disebabkan oleh tubuh dan propagasi lingkungan *indoor*. Hasil pemodelan kanal yang diperoleh selanjutnya akan dibandingkan dengan pemodelan kanal WBAN dengan standart IEEE P802.15-08-0780-09-0006. Adapun pengambilan data pengukuran dilakukan dengan menggunakan VNA Agilent N9923A.

Hasil dari penelitian ini diharapkan mampu memberikan manfaat berupa pemodelan kanal jaringan area tubuh nirkabel yang sesuai dengan kondisi propagasi tubuh dan lingkungan *indoor* di Indonesia yang tentunya memiliki banyak perbedaan dengan kondisi di berbagai negara lain khususnya dalam hal pelayanan kesehatan. Perbedaan kondisi yang dimaksud antara lain dipengaruhi oleh

perbedaan postur tubuh masyarakat Indonesia, perbedaan cara berpakaian yang disesuaikan dengan kondisi alam, serta keanekaragaman lingkungan tempat pelayanan kesehatan juga akan memberikan pengaruh pada pemodelan kanal. Dari penelitian ini juga dapat ditindak lanjuti untuk pembuatan berbagai aplikasi yang berhubungan dengan kontrol kondisi tubuh dalam berbagai bidang.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Bagaimana melakukan pengukuran respon impuls kanal jaringan area tubuh dengan VNA Agilent N9923A?
2. Bagaimana mengolah data hasil pengukuran untuk memperoleh parameter kanal (*pathloss*, *power delay profile (PDP)*, *mean excess delay*, dan *RMS delay spread*)?
3. Bagaimana pemodelan kanal pada jaringan area tubuh nirkabel karena pengaruh propagasi tubuh manusia dan propagasi lingkungan *indoor*?

1.3 Tujuan

Tujuan penelitian ini antara lain:

1. Memperoleh respon kanal jaringan area tubuh untuk menghitung parameter kanal.
2. Memperoleh hasil estimasi parameter kanal (*pathloss*, *power delay profile (PDP)*, *mean excess delay* dan *RMS delay spread*).
3. Mendapatkan pemodelan kanal yang sesuai pada jaringan tubuh nirkabel karena pengaruh propagasi tubuh manusia dan propagasi lingkungan *indoor* menggunakan antena *microstrip patch rectangular* pada frekuensi 3,1 GHz.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Hardware yang digunakan adalah VNA Agilent N9923A
2. Pengukuran dilakukan di lingkungan *indoor* dengan pengamatan pada kanal WBAN CH3 dan CH4.
3. Pengukuran dilakukan menggunakan frekuensi WBAN 3,1 GHz
4. Antena transmitter dan receiver yang digunakan merupakan antena *microstrip patch*.

1.5 Kontribusi

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi berupa informasi pemodelan kanal yang tepat untuk jaringan area tubuh nirkabel pada lingkungan *indoor* yang nantinya dapat dimanfaatkan dalam pembuatan berbagai aplikasi di bidang kesehatan, olahraga dan *entertainment*.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam Tesis ini adalah sebagai berikut:

BAB 1 : PENDAHULUAN

Bab ini mengandung hal-hal berikut diantaranya latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, kontribusi, dan sistematika penulisan.

BAB 2 : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tinjauan pustaka yang akan menunjang perancangan dan pembuatan sistem pada bab selanjutnya. Tinjauan pustaka yang digunakan meliputi : penelitian sebelumnya, propagasi area tubuh, parameter WBAN, pemodelan kanal jaringan area tubuh nirkabel, teknologi UWB, pemodelan kanal WBAN berdasarkan standart IEEE P802.15-08-0780-09-0006 dan antenna *microstrip patch*.

BAB 3 : METODE PENELITIAN

Bagian ini membahas mengenai sistem pengukuran termasuk mengulas parameter-parameter pengukuran dan spesifikasi perangkat yang digunakan. Bagian selanjutnya membahas implementasi sistem pemancar dan sistem penerima dan konfigurasinya dengan alat ukur serta skenario-skenario pengukuran. Pengolahan data yang meliputi pengolahan respon impuls, pengolahan *pathloss*, dan teknik parameter delay statistik kanal dibahas pada bagian akhir bab ini.

BAB 4 : HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Berisi hasil pengukuran dan hasil pengolahan data pengukuran baik pengukuran pada skenario Channel Model 3 (CM3) maupun Channel Model 4 (CM4). Hasil pengolahan data meliputi hasil transfer fungsi kanal dalam domain frekuensi, yang selanjutnya akan diolah sehingga menghasilkan respons impuls kanal dalam domain waktu. Bagian ini juga mengulas pemodelan *pathloss* dan pemodelan PDP untuk kanal jaringan area tubuh.

BAB 5 : PENUTUP

Bagian ini berisi kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan serta terdapat pemberian saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Pendahuluan

Tinjauan pustaka yang diuraikan pada bab ini berisi konsep kanal tubuh, pengaruh propagasi dari dalam tubuh dan lingkungan terhadap model kanal, model *pathloss* dan model *Power Delay Profile* (PDP) serta parameter statistik yang meliputi *Mean Excess Delay*, *Maximum Excess Delay* dan *Root Mean Square* (RMS) *Delay Spread*. Bagian berikutnya yang dibahas dalam bab ini adalah semua literatur mengenai pemodelan kanal jaringan tubuh baik model secara fisik maupun deterministik dalam ruangan (lingkungan *indoor*). Selanjutnya membahas antenna yang sesuai untuk digunakan dalam pengukuran parameter kanal pada frekuensi 3,1 GHz. Bagian berikutnya mengulas tentang metode serta rumusan yang digunakan untuk melakukan perhitungan parameter kanal. Selain itu dalam bab ini juga diuraikan mengenai peralatan dan alat ukur yang digunakan selama penelitian baik yang berupa *software* ataupun *hardware*.

2.2 Kajian Penelitian Terkait

Penelitian ini memiliki fokus pemodelan kanal pada jaringan area tubuh nirkabel pada frekuensi 3,1 GHz berdasarkan pengukuran menggunakan antenna *microstrip patch rectangular*. Adapun penelitian terkait yang menjadi dasar dan acuan dalam pengerjaan penelitian ini adalah sebagai berikut :

Penelitian terkait aplikasi WBAN dilakukan oleh Miyuki Hirose, Hironobu Yamamoto, dan Takehiko Kobayashi pada tahun 2012 yang meneliti tentang model statistik yang cocok untuk WBAN UWB berdasarkan ukuran ruang yang digunakan sebagai pengamatan dengan skenario *on-body*. Pada penelitian ini dilakukan pengambilan data pengukuran berupa *pathloss* dan *excess delay* pada ukuran ruangan yang berbeda dan diperoleh hasil untuk propagasi LOS didapatkan *delay profile* terukur $0 \text{ ns} < t < 4 \text{ ns}$, sedangkan untuk propagasi NLOS diperoleh *delay profile* $> 4 \text{ ns}$ bergantung dari ukuran ruangan pengamatan[5].

Penelitian yang dilakukan oleh Rafiaele Di Bari, Qammer H. Abbasi, Akram Alomainy, dan Yang Hao pada tahun 2013 tentang keunggulan pemodelan kanal UWB untuk komunikasi WBAN di lingkungan indoor, baik untuk komunikasi *on body-on body* maupun *on body-off body* menghasilkan distribusi statistik yang optimal dengan perolehan amplitudo kanal 4-5 dB lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian pendahulunya. Penelitian ini menggunakan metode gabungan Akaike Criteria dan Kolmogorov-Smirnov, sedangkan penelitian sebelumnya menggunakan distribusi Log Normal[8].

Penelitian lain terkait penggunaan teknologi UWB pada pemodelan kanal WBAN dilakukan oleh Anming Gao, Hongli Peng, Jinlong Zou, dan Zhengxiao Cao pada tahun 2012 tentang performa teknologi UWB untuk pemodelan kanal WBAN pada pengukuran kanal *on-body*. Penelitian ini dilakukan dengan mengambil data pengukuran CTF untuk mendapatkan parameter *pathloss* dan *Power Delay Profile* (PDP), dan dihasilkan untuk lingkungan *indoor* yang dipengaruhi oleh wifi dan wimax akan menghasilkan nilai *pathloss* yang lebih tinggi karena adanya interferensi dari wifi dan wimax[9].

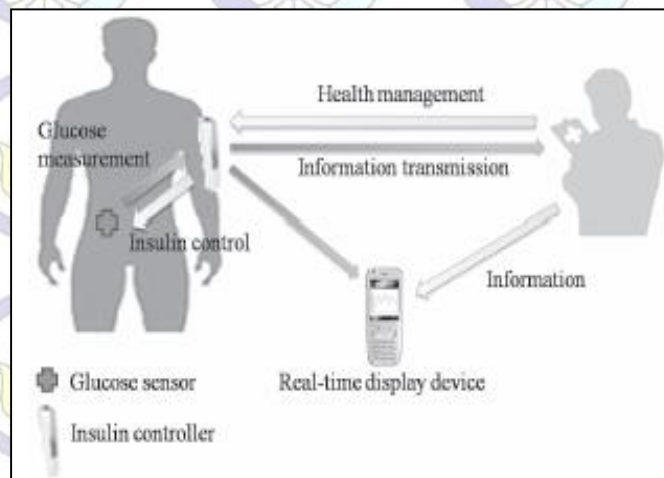
Penelitian selanjutnya tentang teknologi UWB untuk aplikasi WBAN dilakukan oleh Xiyu Lu, Xinlei Chen, Guang Sun, Depeng Jin, Ning Ge, dan Lieguang Zeng pada tahun 2011 yang meneliti tentang model kanal WBAN berdasarkan *fading* di lingkungan *indoor* dan analisa nilai *power delay profile* yang diperoleh dari hasil pengukuran berdasarkan postur tubuh. Dari penelitian ini diperoleh hasil bahwa postur tubuh yang besar nilai PDP yang dihasilkan cenderung lebih besar dibandingkan orang yang memiliki postur tubuh sedang atau kecil[10].

Dari beberapa pengetahuan dasar diatas, maka pada penelitian ini akan diperoleh pemodelan kanal WBAN dengan teknologi UWB yang bekerja pada frekuensi 3,1 GHz dengan memperhitungkan beberapa parameter antara lain model *pathloss*, PDP, *shadowing*, dan BER dalam beberapa skenario yang berbeda.

2.3 Teori Dasar

2.3.1 Jaringan Area Tubuh Nirkabel

Sebuah jaringan area tubuh (*Body Area Network/ BAN*) adalah jaringan yang terdiri dari satu set *node* heterogen yang bisa merasakan, menggerakkan, menghitung, dan berkomunikasi satu sama lain melalui saluran multihop nirkabel. Sebuah BAN dapat mengumpulkan, memproses, dan menyimpan catatan fisiologis seperti sensor aktivitas jantung atau elektrokardiogram (ECG), sensor suhu tubuh, dan tekanan darah pada setiap aktivitas yang dilakukan seperti saat sedang berjalan, berlari, ataupun saat tidur. Selain itu BAN juga dapat merekam kondisi lingkungan seperti suhu, kelembaban, kehadiran alergen, dan parameter dari tubuh manusia serta lingkungan sekitarnya. Bahkan BAN bisa melakukan pemberian pengobatan atas dasar data yang dikumpulkan, BAN sangat berguna dalam membantu para profesional medis untuk membuat keputusan tentang pengobatan pasien dengan menyediakan mereka informasi secara terus menerus tentang kondisi pasien. Sistem ini disebut juga dengan *ubiquitous healthcare (u-health)*[11].



Gambar 2.1 Sistem U Health [11]

Jika BAN ini terpasang secara nirkabel, maka dinamakan dengan Jaringan Area Tubuh Nirkabel (*Wireless Body Area Network/ WBAN*). WBAN adalah sebuah konsep jaringan yang telah berkembang dengan tujuan memonitor sinyal fisiologis penting dari sensor berdaya rendah pada tubuh manusia. Data yang dikumpulkan dari sensor akan di kirim ke node lain melalui media nirkabel, dimana data tersebut diteruskan ke layer aplikasi yang lebih tinggi untuk diartikan.

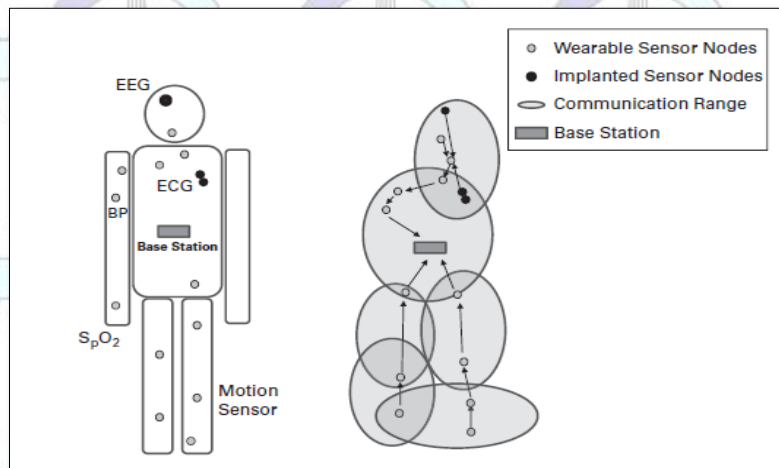
Sebuah WBAN dapat digunakan untuk banyak aplikasi seperti, pemantauan sinyal fisiologis pada lingkungan kesehatan, aplikasi hiburan personal, dan aplikasi komunikasi industri untuk pemantauan pekerja pada lingkungan kritis keselamatan. Oleh karena itu WBAN harus mampu mendukung berbagai kecepatan data dari beberapa bps ke beberapa Mbps. Dengan kemajuan terbaru dalam teknologi data penginderaan, jumlah data yang dikumpulkan oleh sensor telah meningkat drastis. WBAN harus mampu mendukung komunikasi dengan *data rate* tinggi. Daya operasi yang efisien merupakan aspek penting dari perangkat yang terlibat dalam komunikasi WBAN. Selanjutnya, node sensor ini baik yang di implan di dalam tubuh maupun yang digunakan di luar tubuh harus memiliki bentuk yang kecil. Karena node sensor WBAN beroperasi dekat dengan tubuh manusia, maka harus dioperasikan dalam berbagai peraturan yang diterapkan untuk *Specific Absorption Rate* (SAR). Oleh karena itu, kontrol daya pengirim sangat penting dalam teknologi nirkabel yang digunakan untuk aplikasi WBAN. Persyaratan dasar dari WBAN, yaitu[11]:

1. Mendukung *data rate* yang terukur.
2. Konsumsi daya rendah.
3. Daya pancar yang terkontrol.
4. Mempunyai kemampuan untuk memprioritaskan transmisi data dari sinyal yang lebih penting.
5. Transmisi data aman.
6. Dapat berdampingan dengan teknologi nirkabel yang lain.
7. Mempunyai kemampuan untuk beroperasi di lingkungan dengan banyak user.

2.3.1.1 Arsitektur Jaringan Area Tubuh Nirkabel

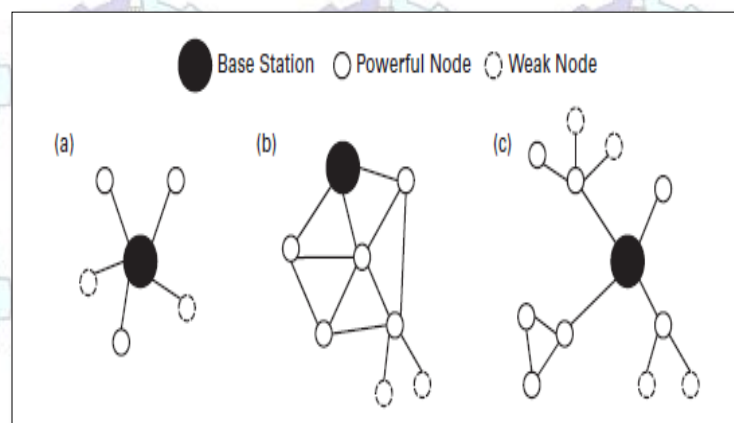
Sebuah *node* pada WBAN memiliki kemampuan yang bervariasi, namun dapat secara luas diklasifikasikan menjadi dua kategori, yang pertama adalah node sensor berupa perangkat medis yang ditanamkan atau dipakai atau hanya berupa *platform* komputasi nirkabel berkapasitas kecil yang dihubungkan dengan sensor atau aktuator. Sedangkan yang kedua adalah node base station yang mempunyai kemampuan komunikasi dan komputasi yang lebih tinggi. Base station akan mengontrol keseluruhan WBAN dan dapat menjangkau setiap node pada sebuah hop. IEEE task group 6 (TG6) telah mendefinisikan arsitektur standar dari WBAN.

Dalam WBAN sebuah unit komputasi akan berkomunikasi satu sama lain melalui saluran nirkabel. Komunikasi dari sensor diasumsikan sudah handal, dan waktu masing masing sensor telah disinkronisasikan. Setiap node pada BAN memiliki satu set node tetangga yang membuat node dapat berkomunikasi melalui jalur nirkabel *single-hop*, seperti yang terlihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Sistem Komunikasi pada Sensor BAN[11]

Pada gambar tersebut terlihat pengelompokan *range* komunikasi, dimana pada setiap *range* terdapat beberapa *node* yang bisa saling berkomunikasi melalui jalur *single-hop*. Lalu dari masing masing hop juga bisa berkomunikasi dengan hop yang lain. Ada tiga topologi jaringan yang telah direkomendasikan oleh IEEE TG6, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3.

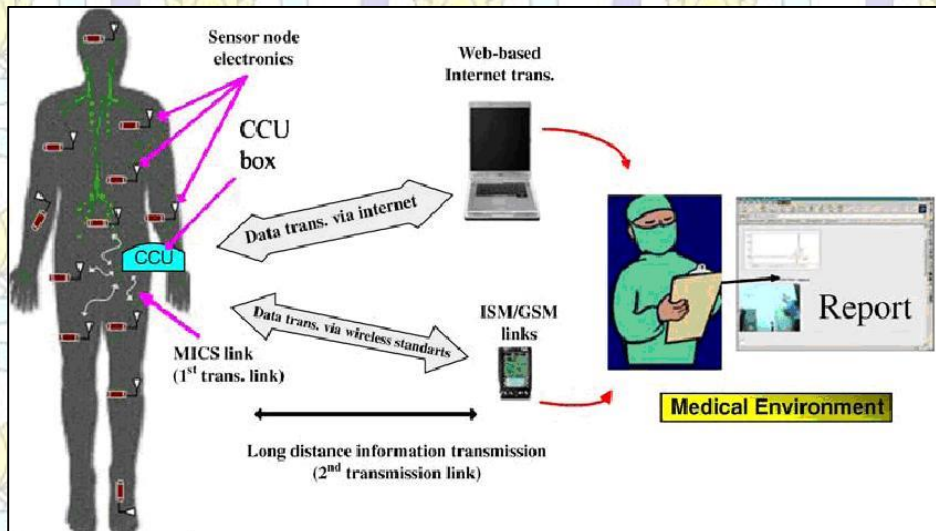


Gambar 2.3 Topologi Jaringan WBAN [11]

Gambar 2.3 bagian (a) menunjukkan topologi bintang, dimana setiap *node* mempunyai satu hop jalur nirkabel ke *base station*. Lalu rute multi-hop dari *node*

menuju *base station* juga direkomendasikan pada topologi mesh seperti yang terlihat pada gambar 2.3 bagian (b). Pada gambar 2.3 bagian (c) menunjukkan topologi hybrid, dimana merupakan kombinasi antara *single-hop* dan *multi-hop*.

Saat ini ada beberapa teknologi nirkabel yang digunakan untuk komunikasi data dalam aplikasi WBAN, seperti yang terlihat pada gambar 2.4 dibawah ini:



Gambar 2.4 Teknologi Komunikasi WBAN [11]

Pada sistem komunikasi WBAN terdiri dari protokol radio yang berbeda. Terdapat 3 tingkatan dalam arsitektur komunikasi WBAN. Pada tingkatan pertama adalah komunikasi sensor WBAN yang ada pada tubuh manusia. Lalu tingkatan kedua adalah komunikasi sensor pada tubuh dengan *server* pribadi seperti telepon genggam. Pada tingkatan ini akan digunakan standar komunikasi dengan jarak yang dekat seperti UWB, Zigbee, atau WLAN. Selanjutnya pada tingkatan ketiga yaitu komunikasi antara server pribadi dengan server medis. Pada tingkatan ini menghubungkan antara jaringan yang terbatas kepada jaringan *backbone*, jaringan medis dan database. Koneksi jarak jauh ini diimplementasikan menggunakan jaringan telepon selular yang ada, WiMAX, atau satelit radio [11].

2.3.1.2 Karakteristik Kanal Jaringan Area Tubuh

Sebuah langkah penting dalam pengembangan jaringan nirkabel area tubuh adalah karakter propagasi gelombang elektromagnetik dari perangkat yang berada di dekat tubuh maupun tertanam di dalam tubuh manusia. Kompleksitas

struktur jaringan tubuh manusia dan bentuk tubuh membuat semakin sulit dalam membuat model *pathloss* yang sederhana untuk BAN. Model kanal dari sistem WBAN perlu memperhitungkan pengaruh dari tubuh terhadap propagasi radio [3].

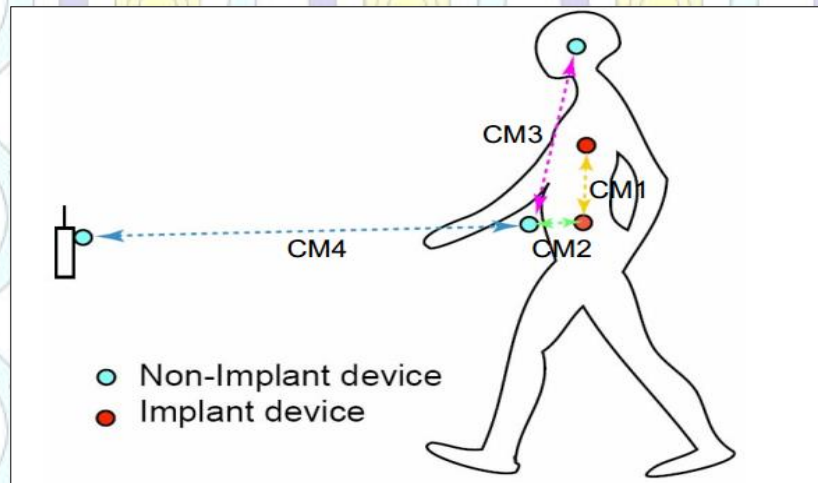
Tabel 2.1 Skenario dan Deskripsi Komunikasi BAN[3]

Skenario	Deskripsi	Rentang Frekuensi	Model Kanal
S1	Implan ke implan	402 – 405 MHz	CM1
S2	Implan ke permukaan tubuh	402 – 405 MHz	CM2
S3	Implan ke eksternal	402 – 405 MHz	CM2
S4	Permukaan tubuh ke permukaan tubuh (LOS)	13.5, 50, 400, 600, 900 MHz 2.4, 3.1 – 10.6 GHz	CM3
S5	Permukaan tubuh ke permukaan tubuh (NLOS)	13.5, 50, 400, 600, 900 MHz 2.4, 3.1 – 10.6 GHz	CM3
S6	Permukaan tubuh ke eksternal (LOS)	900 MHz 2.4, 3.1 – 10.6 GHz	CM4
S7	Permukaan tubuh ke eksternal (NLOS)	900 MHz 2.4, 3.1 – 10.6 GHz	CM4

Menurut lokasi dari node sensor pada kanal WBAN diklasifikasikan ke dalam tiga kategori, yaitu:

1. *Node* implan yaitu sebuah *node* yang ditempatkan didalam tubuh manusia. *Node* ini dapat ditempatkan persis dibawah kulit ataupun jauh lebih ke dalam jaringan tubuh.
2. *Node* permukaan tubuh yaitu sebuah *node* yang ditempatkan pada permukaan kulit manusia atau paling jauh dua sentimeter diatas kulit.
3. *Node* eksternal yaitu sebuah *node* yang tidak bersentuhan dengan kulit manusia. *Node* ini bisa berjarak antara beberapa sentimeter sampai dengan maksimal lima meter dari tubuh manusia.

Terdapat beberapa skenario komunikasi yang dapat diidentifikasi berdasarkan lokasi *node* sensor. Skenario dikelompokkan ke dalam kelas yang dapat diwakili oleh model kanal (Model Channel/ CM) yang sama. Skenario beserta deskripsi dan frekuensinya terdapat dalam tabel 2.1. Jarak dari perangkat eksternal dianggap maksimal 5 meter. Jalur komunikasi yang memungkinkan berdasarkan tabel diatas dapat ditampilkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Jalur Link Komunikasi WBAN[3]

Dalam WBAN, propagasi radio dari perangkat yang sangat dekat maupun yang tertanam di dalam tubuh manusia sangat kompleks dan istimewa. Dibandingkan dengan lingkungan lainnya tubuh manusia memiliki bentuk kompleks yang terdiri dari jaringan yang berbeda dengan permitivitas dan konduktivitas lingkungan lain.

2.3.1.3 Sifat Elektris dari Jaringan Tubuh Manusia

Tubuh manusia merupakan medium yang tidak ideal digunakan untuk transmisi frekuensi gelombang radio. Jaringan tubuh manusia sebagian bersifat konduktif dan tersusun dari material yang memiliki konstanta dielektrik, ketebalan, dan karakteristik impedansi yang berbeda. Oleh sebab itu, tergantung pada frekuensi kerja, tubuh manusia dapat menyebabkan *loss* yang tinggi akibat penyerapan daya, pergeseran frekuensi, dan kerusakan pola radiasi. Efek penyerapan bervariasi besarnya dengan kedua frekuensi dari yang dipraktekkan dan karakteristik dari jaringan tubuh itu sendiri[11].

2.3.2 Karakteristik Kanal Tubuh

Terdapat dua model yang dapat dihasilkan, yaitu :

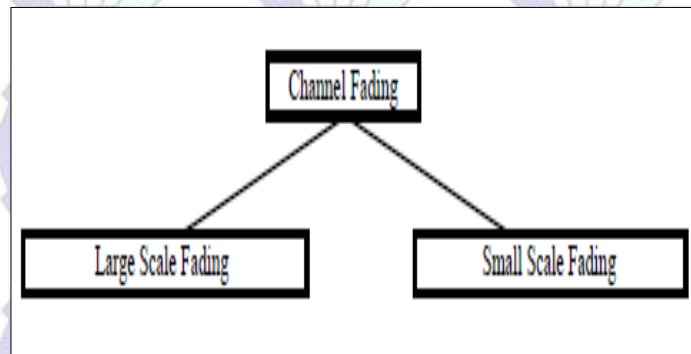
1. Model Teoritis
2. Model Empiris

Model teoritis dapat dilacak kembali ke prinsip-prinsip dasar propagasi elektromagnetik dan akan mengizinkan pemodelan yang tepat dari situasi tertentu di tingkat *radio link*. Hal ini digunakan untuk eksplorasi yang lebih rinci misalnya, pengaruh struktur tubuh terhadap pola radiasi antenna. Ini akan membutuhkan penjelasan yang rinci tentang lingkungan propagasinya dan oleh sebab itu, pemodelan ini tidak cocok digunakan untuk pemodelan pada lingkungan makro.

Model empiris dapat dilacak kembali pada set pengukuran propagasi yang telah disepakati dan dimaksudkan untuk memberikan dasar untuk pemodelan statistic dari kanal. Jika dibandingkan dengan model matematis, model empiris menggunakan deskripsi lingkungan yang disederhanakan. Meskipun dapat diperoleh statistic yang akurat pada tingkat *network*, tetapi tidak akan tepat pada tingkat *link*. Upaya yang tepat dapat dilakukan untuk memastikan bahwa dua set model dapat berkesinambungan satu sama lain[3].

2.3.3 Fading

Pada komunikasi WBAN, jalur propagasi dapat mengalami *fading* akibat berbagai macam alasan, seperti penyerapan energy oleh tubuh, refleksi, difraksi, *shadowing*, dan bentuk tubuh manusia. Alasan lain dari *fading* adalah karena *multipath* akibat lingkungan disekitar tubuh. *Fading* dapat dikategorikan menjadi dua kategori yaitu *small-scale fading* dan *large-scale fading*.



Gambar 2.6 Kategori Fading [3]

Small-scale fading mengacu pada perubahan amplitudo dan fase yang sangat cepat dari sinyal yang diterima pada lingkup area yang kecil dikarenakan oleh perubahan kecil dari *node* yang berada di tubuh ataupun posisi tubuh pada waktu yang singkat. *Small-scale fading* dapat dibagi lagi menjadi *flat fading* dan *frequency selective fading*.

Untuk menghilangkan efek dari *small-scale fading* akibat dari perubahan posisi tubuh dapat dilakukan dengan merata-rata nilai atenuasi dari tiap posisi antenna yang ada di tubuh dan tiap antenna yang berada di ruangan tempat pengukuran.

Large-scale fading adalah *fading* yang diakibatkan oleh gerakan pada area yang luas. Hal ini mengacu kepada jarak antar antenna di tubuh dan *node* eksternal[3].

2.3.4 Pathloss

Pada komunikasi WBAN, tidak seperti pada sistem komunikasi nirkabel lainnya, *path loss* untuk WBAN sangat bergantung kepada jarak dan frekuensi. Ketergantungan frekuensi terhadap organ tubuh harus dipertimbangkan.

Model *pathloss* dalam satuan dB antara *transmitter* dan *receiver* sebagai fungsi jarak berdasarkan persamaan Friis pada ruang bebas adalah sebagai berikut:

$$PL(d) = PL_0 + 10 n \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) \quad (2.1)$$

Dimana PL_0 adalah *pathloss* pada jarak d_0 , dan n adalah *pathloss* eksponen. *Pathloss* di dekat antenna bergantung pada jarak antara antenna dan tubuh dilihat dari adanya ketidaksesuaian antara keadaan sebelum dan sesudah didekatkan ke permukaan tubuh. Ketidaksesuaian ini menandakan bahwa tubuh memberikan pengaruh pada performa *pathloss* antenna[3].

Sedangkan *pathloss* untuk komunikasi *on body to on body surface* memiliki rumusan tersendiri yang berbeda dengan rumus *pathloss* pada ruang bebas. Hal ini disebabkan karena adanya sifat kompleksitas kanal tubuh dan interaksi dengan antenna. Propagasi gelombang elektromagnetik pada komunikasi *on body to on body surface* memiliki perbedaan dalam hal faktor absorpsi, refleksi dan difraksinya. Adapun rumusan *pathloss* untuk komunikasi WBAN *on body to on body surface* adalah sebagai berikut :

$$PL(d(p)) = -20 \times \log_{10} \left\{ \frac{1}{N_s} \frac{1}{N_f} \sum_{j=1}^{N_s} \sum_{n=1}^{N_f} |H_j^p(n)| \right\} \quad (2.2)$$

Dengan,

$PL(d(p))$ = Pathloss pada posisi p (dB)

$d(p)$ = Jarak antara antenna Tx dan Rx (mm)

N_s = Jumlah *snapshot*

N_f = Jumlah frekuensi sampel

$H_j^p(n)$ = Magnitudo S21 hasil pengukuran

j = Nomor *snapshot*

p = Nomor sampel

Pathloss untuk komunikasi *on body surface* dimodelkan berdasarkan fungsi log linear terhadap jarak, secara matematis dituliskan sebagai berikut :

$$PL(d) = a \times \log(d) + b + \sigma N \quad (2.3)$$

Dengan,

$PL(d)$ = Pathloss pada jarak d (mm) dengan satuan (dB)

a dan b = Parameter yang diturunkan dari hasil fitting pengukuran

N = Nilai stokastik fungsi distribusi log normal

σ_N = Standart deviasi

Tabel 2.2 Parameter Model Kanal On Body Surface

Parameter	a	b	σ_N
Nilai	21.97	3.1	7.07

2.3.5 Shadowing

Akibat dari variasi lingkungan sekitar tubuh atau dari gerakan anggota tubuh, *pathloss* akan berbeda dari nilai rata-rata yang dihasilkan pada persamaan (1). Fenomena ini dinamakan *shadowing*, hal ini menimbulkan variasi nilai *pathloss*. Dengan mempertimbangkan nilai *shadowing*, nilai total dari *pathloss* menjadi :

$$PL = PL(d) + S \quad (2.4)$$

Dimana $PL(d)$ adalah hasil dari persamaan (2.1) dan S adalah komponen *shadowing*.

2.3.6 Respon Impuls kanal

Dalam suatu pengukuran biasanya didapatkan suatu hasil yang dinamakan sebagai fungsi transfer kanal berupa magnitudo dalam domain frekuensi $H(f)$. Data tersebut kemudian diolah dengan metode IFFT (*Inverse Fast Fourier Transform*) untuk mendapatkan respon impuls yang merupakan fungsi transfer kanal dalam domain waktu $h(\tau)$. Pada umumnya pengukuran dilakukan pada sistem yang tetap (*fixed*), maka respon impuls dimodelkan sebagai *Response Impuls Time Invariant*. Jadi pengamatan hannya dilakukan terhadap *delay* (τ) saja. Secara matematis dapat dituliskan :

$$h(\tau) = \sum_{k=1}^N a_k e^{j\theta_k \delta(\tau - \tau_k)} \quad (2.5)$$

Dengan,

$h(\tau)$ = Fungsi transfer kanal domain waktu

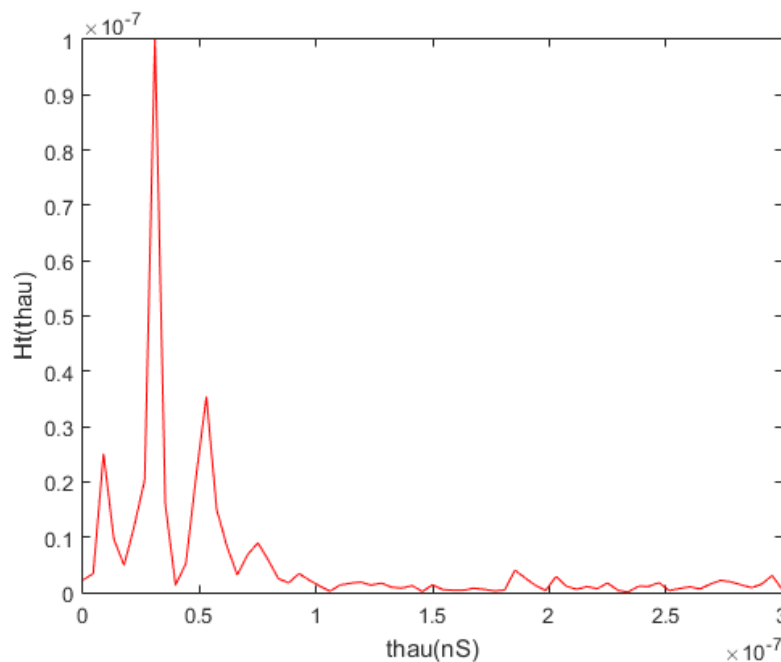
a_k = magnitudo

θ_k = *phase*

τ = *excess delay*

k = lintasan komponen

$\delta(.)$ = fungsi dirac delta



Gambar 2.7 Respon Impuls Kanal H_t

2.3.6.1 Power Delay Profile (PDP)

Faktor utama yang dapat digunakan untuk menentukan statistik delay adalah power delay profile (PDP). Nilai PDP berasal dari pengolahan respon impuls sinyal pada pengukuran. Power delay profile (PDP) adalah daya terima per satuan waktu dengan excess delay rata-rata dari respon impuls sejumlah sampel spasial. Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut :

$$pdp(\tau) = \langle |h(\tau)|^2 \rangle_{ss} \quad (2.6)$$

Dengan,

ss = jumlah sampel spasial

$pdp(\tau)$ = power delay profile

$h(\tau)$ = Fungsi transfer kanal pada domain waktu

2.3.6.2 Parameter Statistik

Dari *power delay profile* diatas, bisa didapatkan beberapa parameter delay statistik yang berupa *maximum excess delay*, *mean excess delay* dan *root mean square (RMS) delay spread*.

a. Maximum Excess Delay

Maximum Excess Delay adalah rentang waktu antara munculnya impuls pertama sampai impuls terakhir pada *power delay profile*. Secara matematis dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{maximum excess delay} = \tau(\max) - \tau(1) \quad (2.7)$$

b. Mean Excess Delay

Mean Excess Delay (τ) adalah momen pertama dari PDP yang dinormalisasi dengan daya sinyal rata-rata, secara matematis diberikan rumus sebagai berikut:

$$\text{Mean Excess Delay} = \bar{\tau} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \tau_k P(\tau_k)}{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N P(\tau_k)} = \frac{\sum_{k=1}^N \tau_k P(\tau_k)}{\sum_{k=1}^N P\tau_k} \quad (2.8)$$

Dengan,

τ_k = delay waktu relatif terhadap $\tau = 0$ (waktu pertama munculnya PDP)

P = level daya absolut

N = jumlah titik pengamatan PDP

c. Root Mean Square (RMS) Delay Spread

Momen kedua dari *mean excess delay* disebut sebagai *root mean square (RMS) delay spread* (σ_τ) dan dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut ini :

$$\sigma_\tau = \sqrt{\overline{\tau^2} - (\overline{\tau})^2} \quad (2.9)$$

dengan

$$\overline{\tau^2} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \tau_k^2 P(\tau_k)}{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N P(\tau_k)} \quad (2.10)$$

atau

$$RMS \text{ delay spread} = \delta_\tau = \left[\frac{\sum_{k=1}^N (\tau_k - \overline{\tau})^2 P(\tau_k)}{\sum_{k=1}^N P(\tau_k)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.11)$$

2.3.7 Antena

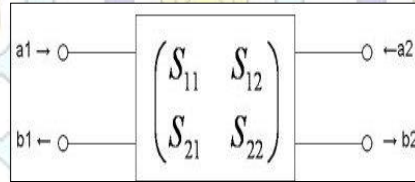
Antena adalah perangkat yang meradiasikan atau menerima sinyal elektromagnetik dari atau ke ruang bebas. Pada sistem komunikasi, suatu sinyal diransmisikan dari satu titik ke titik lainnya. Transmisi sinyal dilakukan dengan beberapa cara salah satunya adalah transimisi sinyal elektromagnetik melalui ruang bebas, dengan antena sinyal yang datang dari saluran transmisi dapat dipancarkan ruang bebas. Saluran transmisi adalah media yang berfungsi menghantarkan sinyal, jika sinyal melalui saluran transmisi yang tak berhingga panjangnya maka akan timbul gelombang yang merambat secara *uniform* pada saluran transmisi. Apabila saluran transmisi tersebut dihubung singkat maka akan timbul gelombang berdiri yang disebabkan oleh *interferensi* antara gelombang datang dan gelombang yang dipantulkan[13].

Dalam perancangan antena perlu diketahui kinerja dari antena tersebut agar nantinya antena seusai dengan kebutuhan yang ingin dipenuhi, kinerja suatu antena dapat diketahui melalui parameter antena, parameter tersebut antara lain.

2.3.7.1 Scattering Parameter (S-Parameter)

S-Parameter adalah besaran yang menggambarkan hubungan dari terminal masukan dan keluaran dari suatu saluran transmisi yang berkaitan dengan daya

sinyal yang diteruskan maupun dipantulkan. Konsep S-Parameter dalam dua terminal dapat dilihat pada gambar 2.8



Gambar 2.8 Konsep S-Parameter dengan dua terminal [13]

Dengan :

S_{11} : perbandingan daya yang masuk dan keluar dari terminal 1

S_{12} : perbandingan daya yang masuk dari terminal 1 dan keluar ke terminal 2

S_{21} : perbandingan daya yang masuk dari terminal 2 dan keluar ke terminal 1

S_{22} : perbandingan daya yang masuk dan keluar dari terminal 2

a_1 : daya yang masuk dari terminal 1

a_2 : daya yang masuk dari terminal 2

b_1 : daya yang keluar ke terminal 1

b_2 : daya yang keluar ke terminal 2

Dari gambar 2.8 maka didapatkan persamaan :

$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1} \quad (2.12)$$

$$S_{12} = \frac{b_1}{a_2} \quad (2.13)$$

$$S_{21} = \frac{b_2}{a_1} \quad (2.14)$$

$$S_{22} = \frac{b_2}{a_2} \quad (2.15)$$

2.3.7.2 Koefisien Refleksi

Koefisien refleksi adalah perbandingan antara daya yang dipantulkan dengan daya yang masuk, bisa dikatakan koefisien refleksi sama dengan S_{11} [13]. Nilai koefisien refleksi yang merupakan fungsi daya bisa diubah menjadi fungsi tegangan melalui persamaan :

$$P = \frac{v^2}{Z_0} \quad (2.16)$$

$$\sqrt{P} = \frac{v}{Z_0} \quad (2.17)$$

Dengan,

P : daya

V : tegangan

Z_0 : impedansi karakteristik

Koefisien refleksi tegangan (Γ) adalah perbandingan antara tegangan yang dipantulkan (v^{0-}) dan tegangan yang masuk (v^{0+}) dengan persamaan :

$$\Gamma = \frac{v^{0-}}{v^{0+}} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2.18)$$

Dengan,

Γ : koefisien refleksi tegangan

v^{0-} : tegangan pantul

v^{0+} : tegangan masuk

Z_L : impedansi beban

Z_0 : impedansi karakteristik

Koefisien refleksi tegangan memiliki beberapa kondisi khusus antara lain:

1. $\Gamma = -1$: refleksi negatif maksimum, saluran terhubung singkat.
2. $\Gamma = 0$: tidak ada refleksi, saluran match.
3. $\Gamma = 1$: refleksi positif maksimum, saluran dalam rangkaian terbuka.

2.3.7.3 Return Loss

Return loss merupakan bentuk logaritmik dari koefisien refleksi, dengan satuan desibel (dB), yang menyatakan perbandingan antara daya yang dipantulkan dan daya yang masuk. Nilai *return loss* didapatkan dengan persamaan:

$$RL(dB) = 20 \log|\Gamma| = 10 \log \frac{P_i}{P_r} \quad (2.19)$$

Dengan :

RL : *return loss*

Γ : koefisien refleksi tegangan

P_i : tegangan pantul

P_r : tegangan masuk

Nilai dari *return loss* digunakan untuk melihat kinerja dari antenna, terutama untuk menentukan frekuensi kerja dari antenna. Semakin rendah nilai *return loss* suatu antenna maka akan semakin baik kinerja dari antenna tersebut karena

menandakan daya yang dipantulkan semakin kecil jika dibandingkan dengan daya yang masuk. Batas maksimum nilai *return loss* suatu antenna adalah -10dB[13].

2.3.7.4 Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

Sesuai dengan namanya VSWR adalah perbandingan dari amplitudo tegangan gelombang berdiri, yaitu perbandingan amplitudo tegangan gelombang berdiri maksimum ($|V_{max}|$) dan amplitudo tegangan gelombang berdiri minimum ($|V_{min}|$). Besarnya nilai VSWR bisa didapatkan dari persamaan :

$$VSWR = \frac{|V_{max}|}{|V_{min}|} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (2.20)$$

Dengan :

VSWR: *voltage standing wave ratio*

Γ : koefisien refleksi tegangan

V_{max} : amplitudo tegangan gelombang berdiri maksimum

V_{min} : amplitudo tegangan gelombang berdiri minimum

VSWR memiliki rentang nilai dari 1 hingga tak hingga. VSWR juga menjadi salah satu parameter yang digunakan untuk melihat kinerja dari antenna, seperti *return loss* VSWR juga parameter yang menentukan frekuensi kerja dari antenna. Semakin besar nilai VSWR maka kinerja antenna semakin buruk. Kondisi paling baik adalah ketika VSWR bernilai 1 yang menandakan antenna *match* dengan saluran transmisi sehingga tidak ada gelombang yang terpantulkan dari antenna. Batas nilai maksimum VSWR untuk suatu antenna adalah 2, sehingga antenna dikatakan memiliki kinerja baik jika memiliki VSWR dibawah 2 pada frekuensi kerja dari antenna tersebut[13].

2.3.7.5 Bandwidth

Bandwidth adalah rentang frekuensi dimana kinerja suatu perangkat masih dapat diterima. Untuk antenna maka *bandwidth* adalah rentang frekuensi dimana VSWR dan *return loss* tidak melewati nilai maksimum untuk antenna. *Bandwidth* memiliki dua batas yaitu batas atas (f_1) dan batas bawah (f_2) dimana besarnya *bandwidth* adalah rentang nilai diantara tersebut untuk antenna *narrow band* atau *bandwidth* sempit sering disebutkan dalam persentase yang didapatkan dari persamaan[13] :

$$BW = \frac{f_1 - f_2}{f_c} \times 100\% \quad (2.21)$$

Dengan,

BW : *bandwidth*

f_1 : batas atas frekuensi kerja

f_2 : batas bawah frekuensi kerja

f_c : titik tengah frekuensi kerja

2.3.7.6 *Beamwidth*

Beamwidth didefinisikan jarak sudut angular antara dua *point* pada pola radiasi. Definisi yang samar mungkin dapat menyebabkan kesalahpahaman dan untuk lebih spesifiknya *point* yang disebutkan sebagai *Half Power Beamwidth* (HPBW) dan *Beamwidth Between First Null* (BWFN). HPBW adalah besar sudut dimana intensitas radiasi menjadi setengah (-3dB) dari intensitas tertinggi. BWFN adalah sudut dimana intensitas radiasi menjadi nol.

Untuk menghitung *beamwidth* atau *Half Power Beamwidth* (HP), yang mana pemisahan sudut *angular* dari titik dimana daya dari *main beam* adalah setengah dari nilai maksimum dengan persamaan :

$$HP = |\theta_{HP \text{ left}} - \theta_{HP \text{ right}}| \quad (2.22)$$

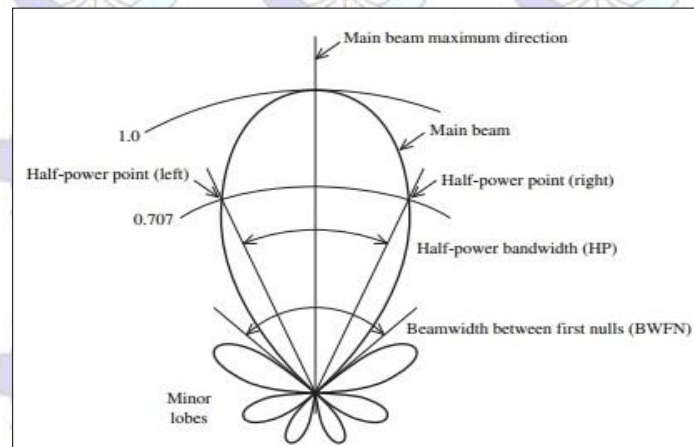
Dimana, $\theta_{HP \text{ left}}$ dan $\theta_{HP \text{ right}}$ adalah titik pada kiri dan kanan dari maksimum *main beam* yang mana daya dinormalisasi menjadi setengah dari daya utama.

2.3.7.7 *Pola Radiasi*

Pola radiasi adalah gambaran secara grafis karakteristik radiasi dari sebuah antena. Pola radiasi antena disebut pola medan (*field pattern*) jika yang digambarkan adalah kuat medan. Untuk menyatakan pola radiasi secara grafis, maka pola radiasi dapat digambarkan dalam bentuk absolut atau relatif. Bentuk relatif artinya pola radiasi yang sudah ternormalisasi, dimana setiap nilai dari pola radiasi dibagi dengan nilai maksimumnya. sehingga pola radiasi yang ternormalisasi memiliki persamaan[13] :

$$F_{(\theta, \Phi)} = \frac{P_{(\theta, \Phi)}}{E_{(\theta, \Phi) \text{ max}}} \quad (2.23)$$

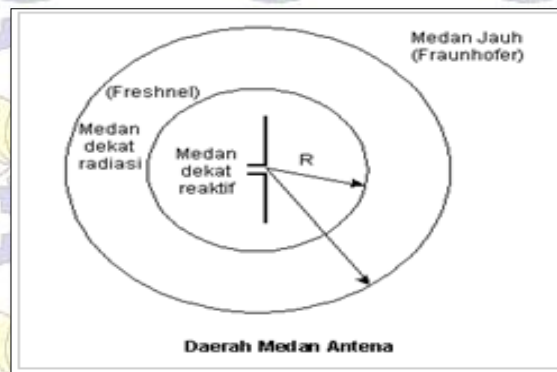
Pola radiasi terdiri dari tiga bagian yaitu *main lobe*, *side lobe*, dan *back lobe*. *Main lobe* adalah daerah radiasi yang memiliki intensitas tertinggi. *Side lobe* adalah daerah radiasi yang memiliki intensitas yang lebih rendah dari *main lobe*. *Back lobe* adalah daerah radiasi yang memiliki arah bertolak belakang dengan *main lobe*. *Main lobe* terdiri dari HPBW dan *Beamwidth Between First Null* (BWFN). HPBW adalah besar sudut dimana intensitas radiasi menjadi setengah (-3dB) dari intensitas tertinggi. BWFN adalah besar sudut dimana intensitas radiasi menjadi nol.



Gambar 2.9 Pola radiasi antenna[13]

Untuk mendapatkan pola radiasi maka diperlukan pengukuran, pada pengukuran pola radiasi antenna faktor jarak menjadi penting. Semakin jauh jarak pengukuran maka hasil pengukuran yang didapatkan akan semakin baik, tapi kita tidak bisa melakukan pada jarak yang tidak terhingga. Karena itu untuk mendapatkan hasil pengukuran yang baik maka pengukuran dilakukan pada jarak yang sudah dianggap sebagai medan jauh.

Ruang di sekeliling antenna dibagi dalam 3 daerah yaitu daerah medan dekat reaktif (daerah antenna), daerah medan dekat radiasi (daerah *Freshnel*), dan daerah medan jauh (daerah *Fraunhofer*). Berikut ilustrasi gambar pembagian 3 daerah medan antenna :



Gambar 2.10 Daerah Medan Antena [13]

Untuk menentukan jarak medan jauh (daerah *Fraunhofer*) bisa didapatkan menggunakan persamaan :

$$r > \frac{2D^2}{\lambda} \text{ dengan } r \gg D \text{ dan } r \gg \lambda \quad (2.23)$$

dengan :

r : jarak pengukuran (m)

D : panjang dari antenna (m)

λ : panjang gelombang yang dipancarkan antenna (m)

Untuk menentukan jarak medan dekat radiasi (daerah *Freshnel*) bisa didapatkan menggunakan persamaan :

$$0,62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \leq R \leq 2 \frac{D^2}{\lambda} \quad (2.24)$$

Untuk menentukan jarak medan dekat reaktif (daerah antenna) bisa didapatkan menggunakan persamaan :

$$R < 0,62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \quad (2.25)$$

Berdasarkan bentuk polanya, pola radiasi terbagi menjadi tiga macam yaitu :

1. *Isotropic*

Pola radiasi *isotropic* adalah pola radiasi yang memancarkan intensitas radiasi yang sama ke segala arah, sehingga memiliki bentuk seperti bola.

2. Omnidirectional

Pola radiasi *omnidirectional* adalah pola radiasi yang memancarkan intensitas radiasi ke segala arah

3. Directional

Pola radiasi *directional* adalah pola radiasi yang memancarkan intensitas radiasi pada arah tertentu saja.

2.3.7.8 Gain

Gain adalah perbandingan antara rapat daya per satuan unit antenna terhadap rapat daya antenna referensi pada arah dan daya yang sama. *Gain* didefinisikan sebagai 4π kali rasio dari intensitas pada suatu arah dengan daya yang diterima antenna, yang dinyatakan dengan [13] :

$$G_{(\theta,\phi)} = 4\pi \frac{U_{(\theta,\phi)}}{P_m} \quad (2.26)$$

Dengan :

$U_{(\theta,\phi)}$: daya yang diradiasikan per satuan sudut (steradian)

P_m : daya terima dari antenna

Gain juga dapat dicari dengan menggunakan perbandingan level daya terima dan menggunakan antenna referensi sebagai pembanding. Di samping itu *gain* juga dapat dinyatakan dalam desibel (dB).

$$G_t = \frac{P_t}{P_s} G_s \text{ atau } G_t(\text{dB}) = L - P_s(\text{dB}) + G_s(\text{dB}) \quad (2.27)$$

dengan :

r : jarak pengukuran (m)

D : dimensi dari antenna (m)

λ : panjang gelombang yang dipancarkan antenna (m)

2.3.7.9 Antena Microstrip

Microstrip terdiri dari dua kata *micro*, yang berarti kecil, dan *strip* yang berarti keping. Antena *microstrip* didefinisikan sebagai antenna berbentuk kepingan yang berukuran kecil. Antena *microstrip* memiliki kelebihan antara lain:

1. Mempunyai ukuran yang ringkas dan kecil
2. Kemudahan fabrikasi, dan biaya yang rendah dalam fabrikasi
3. Bisa dilakukan perancangan dua polarisasi dan *multiband* frekuensi

4. Mudah untuk diintegrasikan dengan rangkaian gelombang mikro.

Namun antenna *microstrip* juga memiliki beberapa kelemahan antara lain :

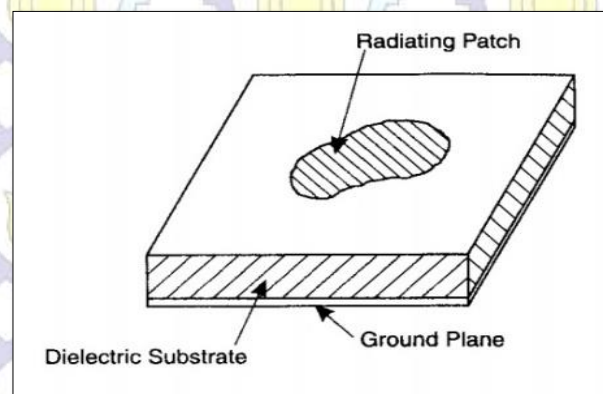
1. *Bandwidth* sempit
2. *Gain* rendah
3. Rugi-rugi hambatan yang besar pada pencatutan antenna *array*
4. Daya yang dapat diradiasikan (*power handling*) rendah

Antena *microstrip* terdiri dari 3 bagian yaitu *patch*, *ground plane*, dan *substrate*. *Patch* terletak diatas *substrate*, dan *ground plane* terletak dipaling bawah.

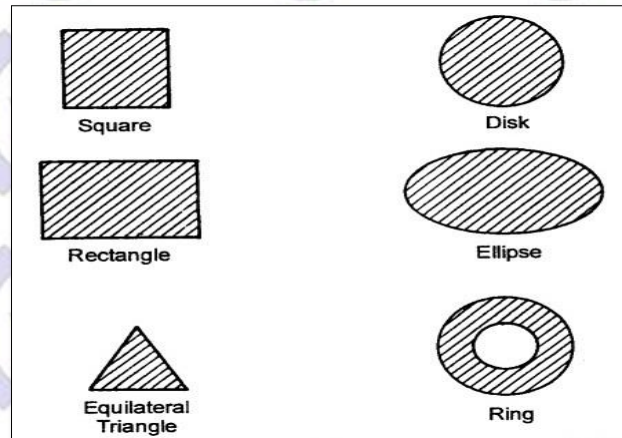
Struktur antenna *microstrip* dapat dilihat pada gambar 2.11.

Patch merupakan bagian teratas dari antenna *microstrip* yang meradiasikan sinyal elektromagnetik. *Patch* terbuat dari konduktor, bahan konduktor yang sering digunakan antara lain tembaga dan emas. Berdasarkan bentuknya *patch* terbagi menjadi beberapa jenis antara lain:

1. Persegi (*square*)
2. Persegi panjang (*rectangle*)
3. Segitiga (*triangle*)
4. Piringan (*disk*)
5. Elips



Gambar 2.11 Struktur Antena *Microstrip*[13]



Gambar 2.12 Macam-Macam Bentuk Antena *Microstrip Patch*[13]

Ground plane merupakan lapisan paling bawah memantulkan sinyal yang tidak diinginkan atau untuk menghasilkan karakteristik tertentu pada antena.

Substrate terletak diantara *patch* dan *ground plane* yang berfungsi menyalurkan sinyal elektromagnetik dari catu daya. *Substrate* dari bahan dielektrik, bahan yang sering digunakan adalah FR-4 Epoxy. Karakteristik *substrate* mempengaruhi kinerja dari antena. Oleh karena itu dibutuhkan ketepatan pemilihan *substrate* dalam perancangan antena *microstrip*.

2.3.7.10 Perhitungan Dimensi *Rectangular Patch* dan *Ground Plane*

Dalam perancangan antena *rectangular patch*, dimensi yang perlu diketahui adalah panjang (*width*, W) dan panjang (*length*, L). Menurut *proceeding* yang berjudul “*Design of Single Band Rectangular Patch Antenna for WLAN Application*” lebar dan panjang dari *rectangular patch* didapatkan dengan persamaan [13] :

$$W = \frac{1}{2fr\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = \frac{c}{2fr} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (2.29)$$

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \quad (2.30)$$

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_0\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (2.31)$$

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8\right)} \quad (2.32)$$

Dengan :

f_r : frekuensi resonansi atau frekuensi kerja ($3,1.10^9\text{Hz}$)

c : kecepatan cahaya (3.10^8 m/s)

h : ketebalan *substrate*

Setelah mengetahui dimensi dari *patch*, langkah selanjutnya adalah mencari dimensi dari *substrate* dan *ground plane*. Dimensi *substrate* dan *ground plane* didapatkan dari persamaan [13] :

$$L_g = xh + L \quad (2.33)$$

$$W_g = xh + W \quad (2.34)$$

Keterangan :

L_g : panjang *ground plane* dan *substrate*

W_g : lebar *ground plane* dan *substrate*

X : faktor pengali dengan nilai ≥ 6

Dimensi *substrate* dan *ground plane* harus lebih besar dari *patch* ditambah 6 kali ketebalan *substrate*, karena akan muncul rugi-rugi pada *patch* bila dimensi *substrate* dan *ground plane* kurang dari dimensi *patch* ditambah 6 kali ketebalan *substrate*.

2.3.7.11 Perhitungan Dimensi Saluran Transmisi

Saluran transmisi merupakan salah satu bagian dari antenna yang berfungsi menyalurkan daya dari catu daya ke antenna. Saluran transmisi yang digunakan pada perancangan antenna *microstrip line*. Pencatutan *microstrip line* dilakukan dengan menyalurkan daya melalui saluran berupa *microstrip* yang terhubung ke konektor SMA dengan impedansi sebesar 50Ω . Dimensi saluran transmisi agar memiliki impedansi sebesar 50Ω dipengaruhi oleh lebar dari saluran, sementara panjang tidak mempengaruhi besarnya impedansi. Besarnya lebar saluran didapatkan dari persamaan yang terdapat pada buku “*RF Circuit Design Theory and Application*” karangan Pavel Bretchko[13]:

$$W_l = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad (2.35)$$

$$B = \frac{Z_f \pi}{2 Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.36)$$

$$Z_f = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = \sqrt{\frac{4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb/Am}}{8.85418 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2}} = 378.6 \, \Omega$$

Dengan,

Wl : Lebar saluran Transmisi

Zf : impedansi gelombang di ruang hampa

2.3.8 Vector Network Analyzer (VNA)

Vector Network Analyzer (VNA) merupakan alat ukur (instrumen) yang digunakan secara luas pada sistem pengukuran di dunia telekomunikasi. Pada sistem komunikasi optik, VNA digunakan untuk mengukur karakteristik pergeseran fasa rangkaian optik ketika digunakan dalam menganalisa jaringan. Produsen instrumen ini juga banyak, dimana yang terkenal diantaranya adalah *Agilent* (dulunya lebih dikenal dengan merek *hp- hewlett packard*) dan *Anritsu*. Dasar *FieldFox* RF VNA digunakan untuk pengukuran transmisi / refleksi (T /R), atau S11 dan S21, besaran dan fase.



Gambar 2.13 VNA Handheld Agilent N9923A

2.3.8.1 Spesifikasi VNA Agilent N9923A

Vector Network Analyzer yang dipergunakan untuk pengukuran bermacam-macam. Salah satu yang digunakan pada pengukuran dengan rentang frekuensi 2 MHz sampai 4 GHz adalah VNA Agilent N9923A, berikut tabel spesifikasi VNA Agilent N9923A :

Tabel 2.3 Spesifikasi VNA Agilent N9923A

No	Spesifikasi	Keterangan
1.	Pengukuran	S11, S21 S12, S22 Display: System impedance
		Magnitude dan phase Magnitude and phase (Option 122) Log, linear, phase, group delay, VSWR, Smith chart, polar chart, split screen to show different S-parameters and phases 50 ohm and 75 ohm (with 50/75 ohm adapter)
2.	Frekuensi	Range
		Option 104: 2 MHz to 4 GHz Option 106: 2 MHz to 6 GHz
3.	<i>Sweep speed</i>	S21, S11
		2 MHz to 6 GHz, 30 kHz IFBW, 1001 points 0.695 ms/point
4.	<i>Data points</i>	Data points
		101, 201, 401, 601, 801, 1001, 1601, 4001, 10,001 (custom number of points can be set using SCPI)
5.	Directivity	Corrected:
		42 dB
6.	System dynamic	range (S21)
		2 MHz to 6 GHz: 100 dB (typical)
7.	IF bandwidth	IF bandwidth
		300 Hz, 1 kHz, 3 kHz, 10 kHz, and 30 kHz
8.	Output power range	High power: Low power:
		+6 dBm (nominal) -40 dBm (nominal)
9.	Trace noise	Magnitude:
		< 0.01 dB rms
10.	Immunity to interference	Immunity to interference
		+16 dBm (nominal)
11.	Maximum input level port 1 or port 2	Maximum input level port 1 or port 2
		+23 dBm /±50 VDC

2.3.8.2 Kapasitas VNA

VNA memiliki kemampuan yang handal untuk pengukuran, antara lain:

1. Menyediakan analisis jaringan yang akurat untuk komponen RF dan memungkinkan pengukuran keempat parameter S secara bersamaan, dengan satu koneksi.
2. Pengukuran VSWR memungkinkan evaluasi kinerja pencocokan impedansi dari berbagai rentang frekuensi.

3. Uji transmisi digunakan untuk menghitung kerugian kabel secara akurat, *Insertion loss* (filter) dan *amplifier gain* (tower mounted amplifier). VNA menawarkan besaran dan fase transmisi 2 port pengukuran dengan rentang dinamis khas 100 dB.

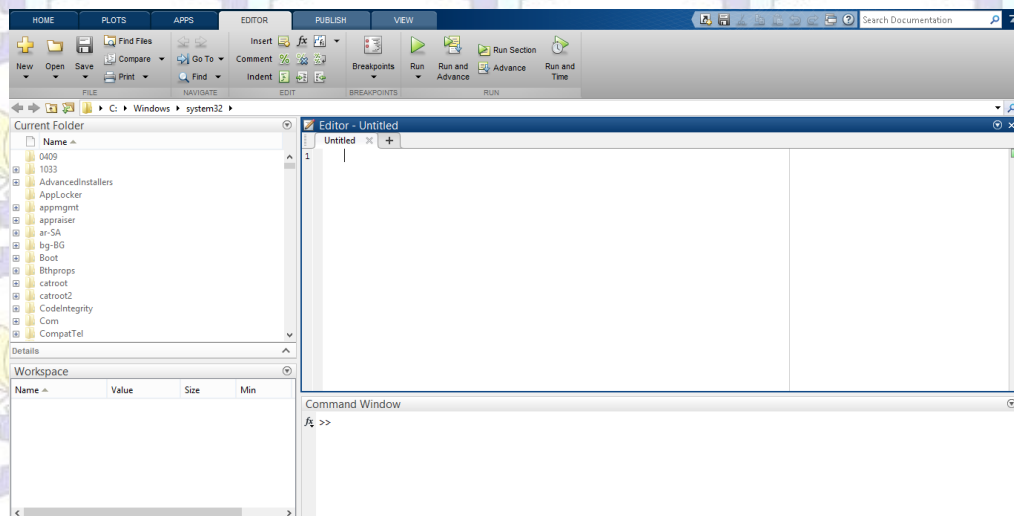
2.3.9 *Matrix Laboratory (MATLAB)*

Matlab merupakan bahasa pemrograman dengan kemampuan tinggi dalam bidang komputasi. Matlab memiliki kemampuan mengintegrasikan komputasi, visualisasi, dan pemrograman. Oleh karenanya, matlab banyak digunakan dalam bidang riset-riset yang memerlukan komputasi numerik yang kompleks. Penggunaan Matlab meliputi bidang-bidang:

- a. Matematika dan Komputasi
- b. Pembentukan Algoritma
- c. Akusisi Data
- d. Pemodelan, simulasi, dan pembuatan prototype
- e. Analisa data, explorasi, dan visualisasi
- f. Grafik Keilmuan dan bidang Rekayasa

Matlab merupakan kepanjangan dari ***Matrix Laboratory***. Sesuai dengan namanya, struktur data yang terdapat dalam Matlab menggunakan matriks atau array berdimensi dua (*double*). Oleh karenanya penguasaan teori matriks mutlak diperlukan bagi pengguna pemula Matlab agar mudah dalam mempelajari dan memahami operasi-operasi yang ada di Matlab.

Untuk memulai matlab dengan melakukan *double-clicking* pada *shortcut icon* MATLAB. Selanjutnya akan muncul tampilan seperti pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 *Command Window* MATLAB

2.3.9.1 Lingkup Matlab

Ada beberapa tools yang disediakan oleh Matlab diantaranya sebagai berikut:

a. *Command Window*

Merupakan tempat yang berfungsi untuk tempat memasukkan dan menjalankan variabel (fungsi) dari Matlab dan M File.

b. *Command History*

Command History berfungsi menampilkan fungsi-fungsi yang telah dikerjakan pada *command window*.

c. *Workspace* yang berisi variabel yang kita gunakan dan untuk membuat variabel baru dalam MATLAB.

d. *Current directory* menunjukkan folder- folder yang berisi file MATLAB yang sedang berjalan.

Matlab memiliki program aplikasi berupa sebuah M-file yang menyediakan kerangka untuk menuliskan program. Kerangka dapat membantu membuat program menjadi lebih efisien dan sempurna. Semua kode termasuk kode *callback* dimasukkan ke dalam kode aplikasi M-file. Setiap *callback* akan diimplementasikan sebagai sebuah subfungsi dalam M-file. Pendekatan ini memungkinkan M-file memiliki titik masukan tunggal (*single entry point*) yang dapat memanggil *callback* yang sesuai, atau sebuah subfungsi penolong yang ingin kita gunakan.

Fungsi M-file mirip dengan script M-file dimana keduanya merupakan file teks dengan ekstensi .m. Sebagaimana script M-file, fungsi M-file tidak dimasukkan ke dalam jendela Command, tetapi merupakan suatu file tersendiri yang dibuat dengan *editor* teks. Fungsi M-file menyediakan cara sederhana untuk menambah kemampuan MATLAB, bahkan banyak fungsi standar MATLAB yang merupakan fungsi M-file.

Aplikasi M-file mengerjakan sesuatu yang berbeda tergantung pada argumen yang dilewatkan ketika dipanggil. Subfungsi yang ditambahkan ke dalam GUIDE memerlukan argumen tertentu, tetapi memiliki daftar panjang argumen variabel. Karena argumen terakhir adalah varargin, maka kita dapat menambahkan argumen apapun yang diinginkan ke dalam subfungsi. Perlu diperhatikan, jika menggunakan aplikasi M-file, maka *file-file* dan M-file harus disimpan dengan nama yang sama.



halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pendahuluan

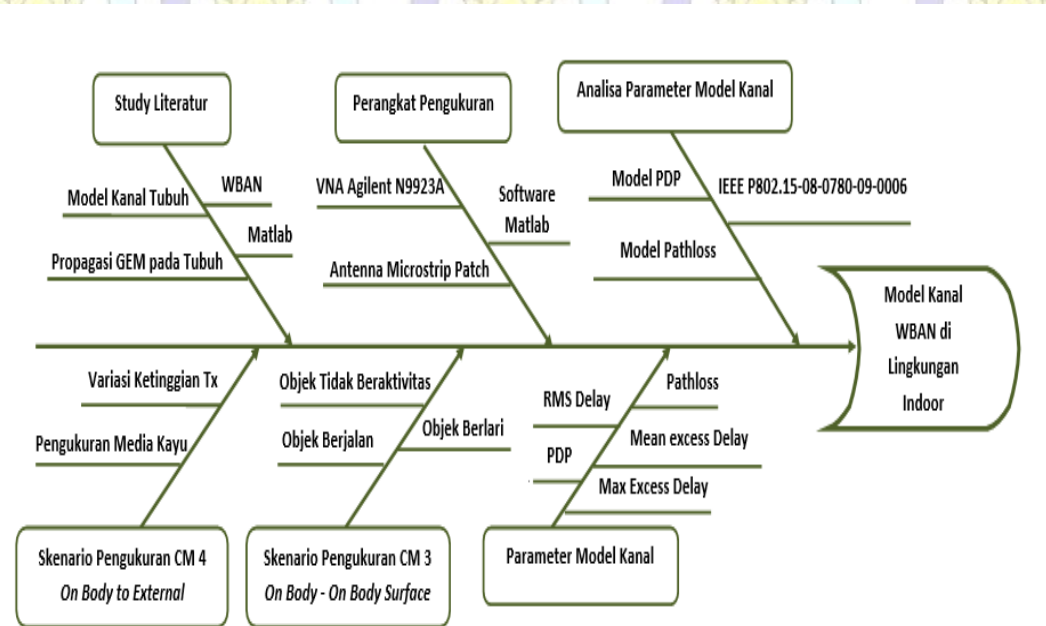
Pada bagian ini membahas beberapa sub pokok bahasan antara lain sistem pengukuran kanal tubuh termasuk mengulas parameter-parameter pengukuran, spesifikasi alat ukur dan antena yang digunakan. Sub pokok bahasan selanjutnya membahas tentang *set up* pengukuran, kalibrasi alat ukur dan pengkondisian ruang pengukuran. Skenario pengukuran dibahas pada sub bab selanjutnya. Pengolahan data hasil pengukuran meliputi pengolahan respon impuls kanal jaringan area tubuh yang diperoleh dari data parameter S21 yang didapat dari VNA, *pathloss*, *Power Delay Profile* (PDP), *maximum excess delay*, *mean excess delay* dan *root mean square* (RMS) *delay spread* di bahas pada bagian akhir sub bab ini.

Terdapat beberapa teknik pengukuran kanal radio antara lain sistem pengukuran dengan pulsa RF, pengukuran kanal pada domain frekuensi menggunakan VNA (*Virtual Network Analyzer*) untuk mengukur *transfer function* kanal, dan sistem pengukuran dengan *spread spectrum sliding correlator* pada domain waktu memanfaatkan korelasi kode PN (*pseudo noise code*) untuk mengukur estimasi respon impuls kanal [7].

Metode pengukuran pada domain frekuensi hanya digunakan untuk pengukuran di dalam gedung (*indoor*), sedangkan metode pengukuran pada domain waktu banyak digunakan untuk pengukuran di dalam (*indoor*) dan luar (*outdoor*) gedung. Dengan bekerja pada domain waktu maka kerumitan perhitungan matematis yang dibutuhkan dalam menganalisa suatu sistem dapat berkurang. Analisa waktu *delay* dan jarak tempuh sinyal yang berpropagasi di suatu kanal radio lebih mudah pula dilakukan pada domain waktu.

3.2 Diagram *Fishbone* Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan serangkaian kegiatan mulai dari *study* literatur, pemilihan perangkat pengukuran, penetapan sistem pengukuran dan skenario pengukuran, penetapan parameter pengukuran hingga analisa model kanal WBAN. Hasil akhir yang akan dicapai adalah mendapatkan model kanal WBAN yang sesuai diterapkan untuk lingkungan *indoor*.



Gambar 3.1 Diagram *Fishbone* Penelitian

Pada tahapan *study* literatur dipelajari tentang karakteristik kanal tubuh, komunikasi WBAN, hal-hal yang mempengaruhi propagasi gelombang elektromagnetik pada komunikasi WBAN serta teknik pengolahan data pengukuran dengan software matlab. Adapun sumber-sumber yang dipergunakan adalah berasal dari buku teks serta dari paper-paper penelitian terkait WBAN.

Perangkat pengukuran yang dipergunakan pada penelitian ini disesuaikan dengan alat ukur yang tersedia di Laboratorium Antena dan Propagasi. Untuk penetapan skenario pengukuran dipilih skenario model kanal yang belum pernah dilakukan sebelumnya di lingkungan *indoor* dengan objek pengukuran orang Indonesia. Adapun pemilihan frekuensi kerja 3,1 GHz dan antena *microstrip patch rectangular* dilakukan dengan mempertimbangkan kemudahan fabrikasi.

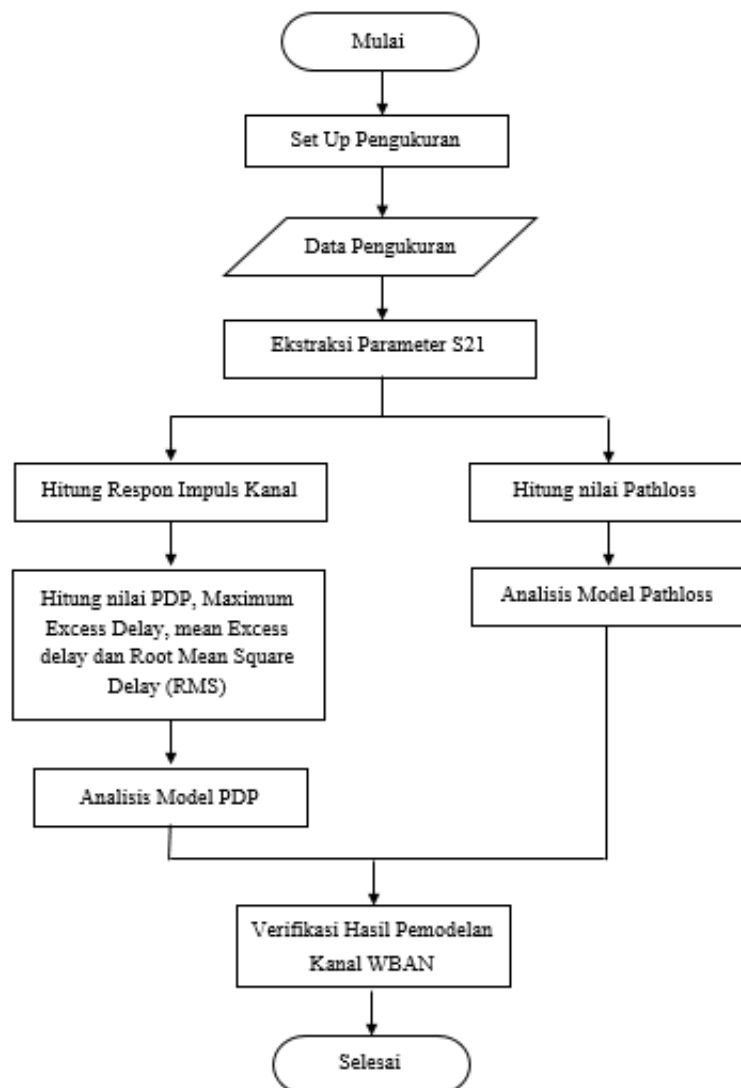
Parameter kanal yang diamati antara lain adalah *pathloss*, *Power Delay Profile (PDP)* dan beberapa nilai statistik model kanal yang meliputi *Maximum excess Delay*, *Mean excess Delay*, dan *RMS Delay Spread*. Parameter-parameter ini yang nantinya akan dianalisa untuk mendapatkan model *pathloss* dan model PDP yang sesuai untuk komunikasi WBAN di lingkungan *indoor* khususnya di Indonesia. Hasil pemodelan kemudian akan di bandingkan dengan model kanal yang dihasilkan dari penelitian yang dijadikan referensi.

3.3 Skema Penelitian

Secara garis besar penelitian ini dapat digambarkan melalui diagram alir seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2. Penelitian ini diawali dengan pengambilan data yang diperoleh dari pengukuran, dimana skema pengukuran, set up pengukuran, serta skenario pengukuran dijabarkan pada sub-bab berikutnya.

Data pengukuran berupa data parameter S_{21} yang diperoleh dari VNA, berupa magnitudo dan *phase* selanjutnya diolah untuk memperoleh informasi *pathloss* dan PDP. Keluaran yang berupa magnitudo digunakan untuk menghitung nilai *pathloss* sesuai dengan persamaan. Dari pengukuran diperoleh 6 nilai *pathloss* yang mewakili titik pengamatan pada tubuh. Hasil perhitungan *pathloss* dalam fungsi jarak ini selanjutnya di fitting untuk mendapatkan model *pathloss* yang sesuai dengan skenario penelitian. Proses fitting dilakukan dengan menggunakan rumusan pada persamaan 2.3. Selanjutnya hasil fitting dibandingkan dengan penelitian-penelitian lain yang terdapat pada literatur.

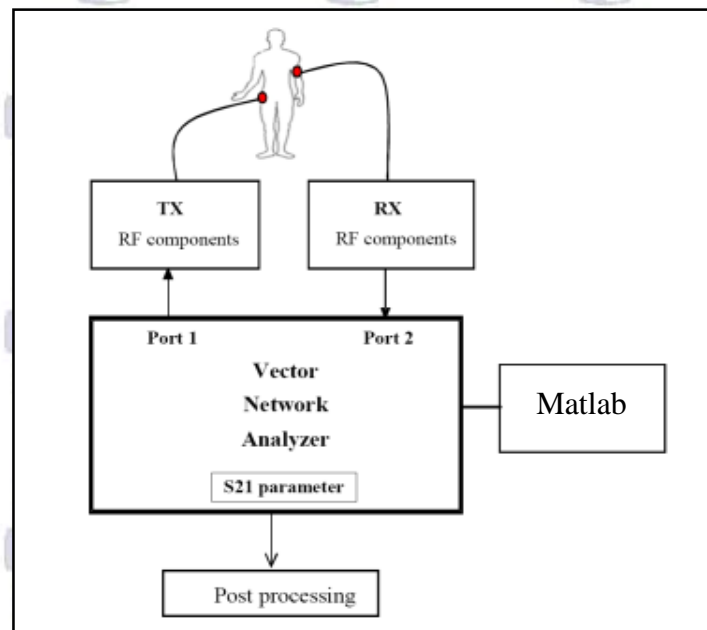
Keluaran yang berupa magnitudo dan *phase* selain digunakan untuk mencari *pathloss*, juga digunakan untuk mencari respon impuls kanal. Respon impuls kanal dihitung dengan menggunakan persamaan 2.5. setelah didapatkan respon impuls kanal, dilanjutkan dengan mencari nilai *power delay profile (PDP)* dengan persamaan 2.6 dan dilakukan perhitungan parameter statistik yang berupa *maximum excess delay*, *mean excess delay*, dan *RMS delay spread*. Selanjutnya model PDP dibandingkan dengan penelitian lain yang sejenis. Bagian akhir dari penelitian ini berupa pemodelan kanal yang sesuai untuk jaringan area tubuh nirkabel UWB di lingkungan *indoor*.



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

3.4 Sistem Pengukuran

Dengan pertimbangan ketersediaan peralatan di Laboratorium Antena dan Propagasi Jurusan Teknik Elektro ITS, pada penelitian ini teknik pengukuran yang dipilih adalah pengukuran parameter S21 dengan menggunakan VNA Agilent N9923A dan 2 buah antena *microstrip patch rectangular* yang identik dengan frekuensi 3,1 GHz yang difungsikan sebagai pemancar dan penerima.



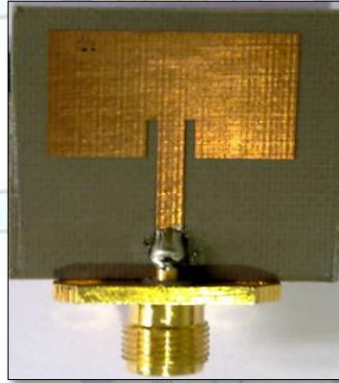
Gambar 3.3 Diagram Sistem Pengukuran

Laptop dan VNA dihubungkan dengan konektor yang tersedia pada VNA, port 1 VNA terhubung dengan antenna *microstrip patch rectangular* yang berfungsi sebagai Tx dan port 2 VNA terhubung dengan antenna *microstrip patch rectangular* yang berfungsi sebagai Rx. Masing-masing antenna Tx dan Rx didekatkan pada permukaan tubuh dengan jarak maksimal 2 cm dari tubuh. Selanjutnya dilakukan pengambilan parameter S21 dari antenna. Hasil pengukuran yang diperoleh selanjutnya disimpan pada USB *flashdisk* dalam bentuk file dengan ekstensi csv. Selanjutnya file csv diekspor dan disimpan ke komputer untuk diolah. Adapun spesifikasi perangkat VNA dan antenna *microstrip patch* dibahas pada sub-bab selanjutnya.

3.4.1 Antena Microstrip Patch Rectangular

Pada penelitian ini antenna yang digunakan adalah sepasang antenna *Microstrip Patch Rectangular* yang identik. Antena ini merupakan antenna

directional yang beroperasi pada frekuensi tengah sebesar 3,104 GHz dengan polarisasi linear.



Gambar 3.4 Antena *Microstrip Patch Rectangular*

Model antena *Microstrip Patch Rectangular* memiliki parameter sebagai berikut :

- Tipe Antena : Antena *Microstrip*
- Bahan : Substrate = FR4; Patch = Cooper
- Frekuensi : 3,1 GHz
- Tipe Patch : *Rectangular Patch*

3.4.1.1 Perancangan Antena *Microstrip Patch Rectangular*

Perancangan antena *microstrip* dimulai dengan menentukan parameter dari antena. Parameter yang dibutuhkan antar lain *return loss*, VSWR, *gain*, pola radiasi dan HPBW. Nilai dari parameter yang telah ditentukan dapat dilihat pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Kriteria Antena *Microstrip Patch*

Spesifikasi Antena	Keterangan
Bentuk antena	<i>Rectangular</i>
Frekuensi tengah	3,1 GHz
<i>Return loss</i>	< -10dB
VSWR	< 2
Metode pencatuan	<i>Microstrip Line</i>
<i>Gain</i>	≥10 dBi
Pola radiasi	<i>Directional</i>
HPBW	30 Derajat
Impedansi input	±50Ω

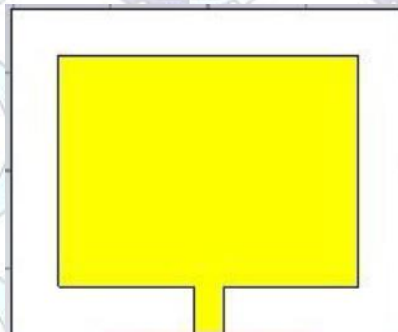
Langkah selanjutnya adalah menentukan bahan yang digunakan untuk pembuatan antena *microstrip*. Bahan yang digunakan adalah *FR4 Epoxy*, *FR4 Epoxy* dipilih karena mudah didapatkan dan harganya yang relatif lebih murah, selain itu spesifikasi *substrate FR4 Epoxy* sudah terdapat pada simulasi. Spesifikasi *FR4 Epoxy* dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Spesifikasi *FR4 Epoxy*

Karakteristik	Nilai	Satuan
Koefisien dielektrik	4.3	-
Koefisien permeabilitas	1	-
Rugi-rugi tangent dielektrik	0.025	-
Frekuensi	1.109-9.109	Hz
Kerapatan massa	1900	Kg/m ³
Ketebalan konduktor (tembaga)	0.035	mm
Ketebalan <i>substrate</i> (FR4 Epoxy)	1.6	mm

Berdasarkan spesifikasi *FR4 Epoxy* diketahui koefisien dielektrik dari *FR4 Epoxy* sebesar 4.3 dengan ketebalan 1.6 mm, dan ketebalan konduktor 0.35 mm. Langkah selanjutnya adalah menentukan dimensi dari antena dengan perhitungan matematis. Hasil perhitungan matematis lalu disimulasikan untuk melihat apakah kinerja antena sudah sesuai atau belum sebelum dilakukan proses pencetakan antena.

Dengan menggunakan persamaan 2.29 sampai dengan 2.32 maka didapatkan dimensi dari *patch* dengan lebar 23,72 mm dan panjang 29,4 mm.



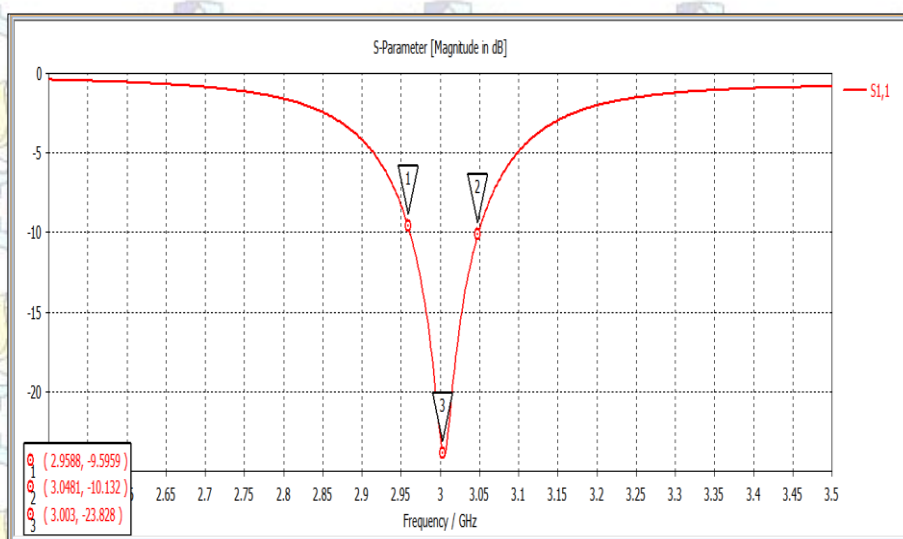
Gambar 3.5 Desain Antena *Microstrip*

Adapun hasil perhitungan parameter antenna dapat dilihat pada tabel berikut:

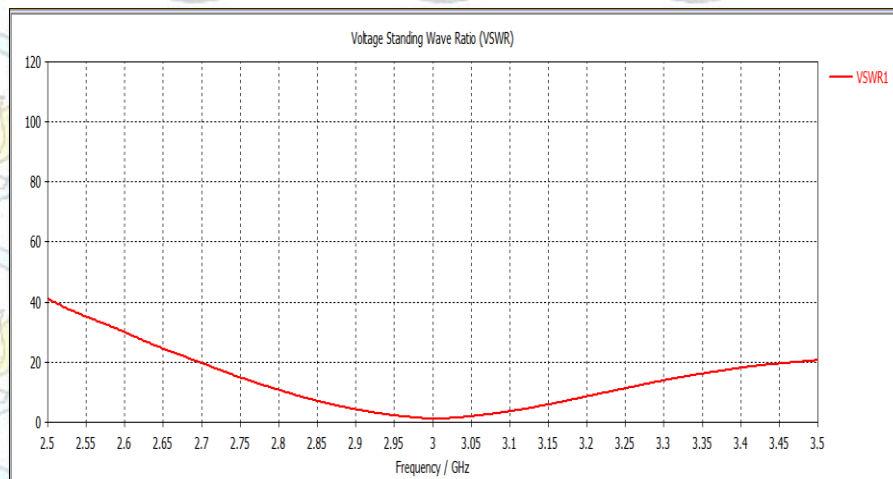
Tabel 3.3 Hasil perhitungan desain antenna *Microstrip Patch Rectangular*

Parameter	Simbol	Dimensi	Unit
Frekuensi Resonan	f	3,1	GHz
Konstanta dielektrik	ϵ	4,6	-
Lebar <i>Ground Plane</i>	W_g	44,67	mm
Panjang <i>Ground Plane</i>	L_g	44,67	mm
Ketebalan substrat	H	1,6	mm
Ketebalan konduktor	T	0,035	mm
Lebar <i>patch</i>	W	23,72	mm
Panjang <i>patch</i>	L	29,4	mm
Lebar dari garis pencatu mikrostrip	s	3,1364	mm

Dari hasil simulasi didapatkan nilai parameter pada frekuensi 3,1 GHz adalah *return loss* -24.3 dB, VSWR 1.423, impedansi *input* 49.531 Ω . Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa masih terdapat sedikit pergeseran antara perhitungan matematis dan simulasi pada CST. Hanya parameter impedansi input yang sesuai hasil perhitungan. Oleh karena itu diperlukan optimasi untuk mendapatkan kinerja antenna yang sesuai. Hasil simulasi dengan *software* CST dapat dilihat pada gambar 3.5 sampai gambar 3.7.



Gambar 3.6 Nilai *Return Loss* Antena *Microstrip*



Gambar 3.7 Nilai VSWR Antena *Microstrip*

h-field (f=3) [1] (peak)	
Component:	Abs
Frequency:	3
Phase:	0
Line Imp. [Ohms]:	49.53121948242
Wave Imp. [Ohms]:	209.0151977539
Beta [1/m]:	116.6371994019
Accuracy:	2.936230902514e-014
Mode type:	QTEM
Maximum:	26.05
Plane at y	-16.63500022888

Gambar 3.8 Nilai Impedansi Input Antena *Microstrip*

3.4.2 Pengukuran Kinerja Antena *Microstrip Patch Rectangular*

Pengukuran pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan alat ukur *Vector Network Analyzer* (VNA) type *Agilent N9923A*. Pengukuran dilakukan di Laboratorium Antena dan Propagasi B-306 Teknik Elektronika ITS.

Langkah pertama yang dilakukan adalah *setting* perangkat pengukuran. Persiapan ini dilakukan terkait dengan persiapan perangkat baik penempatan alat ukur yang harus sesuai dengan ketentuan dan kalibrasi alat ukur. Peralatan yang digunakan adalah *Vector Network Analyzer* merk *Agilent Technologies* seri *Fieldfox N9923A*, kalibrator, *dummy load*, *spectrum analyzer* merk *BK Precision* seri *2658A*, dan konektor *N to SMA*.

3.4.2.1 Prosedur Kalibrasi Alat Ukur

Proses kalibrasi hanya dilakukan pada *network analyzer*, pengaturan Kalibrasi *network analyzer* untuk pengukuran dilakukan dengan langkah-langkah berikut :

1. Siapkan peralatan antara lain *network analyzer*, kabel, dan kalibrator.
2. Nyalakan *network analyzer* dan menunggu proses booting *network analyzer* dengan kedua port terbuka sampai proses selesai.
3. Masuk ke menu kalibrasi lalu lakukan kalibrasi, terdapat dua proses kalibrasi antara lain kalibrasi open, dan kalibrasi short. Pada saat melakukan kalibrasi jika ingin melakukan pengukuran dengan menggunakan kabel maka kalibrasi dilakukan dengan kabel terpasang.
4. Setelah kalibrator terpasang langkah selanjutnya adalah menekan tombol *start* untuk memulai kalibrasi. Terdapat dua proses kalibrasi yaitu *short* dan *open*. Pada saat kalibrasi *open* maka yang dipasang adalah kalibrator *open*, dan saat kalibrasi *short* maka kalibrator yang dipasang adalah *short*.
5. Setelah proses kalibrasi selesai maka *network analyzer* sudah bisa digunakan.

3.4.2.2 Prosedur Pengukuran *Return Loss*, *VSWR*, *Bandwidth*, *Losses Cable* dan Impedansi Input

Prosedur yang dilakukan untuk melakukan pengukuran *return loss*, *VSWR*, *Bandwidth*, *Losses Cable* dan impedansi *input* sama hanya berbeda pada jenis pengukurannya. Langkah-langkah pengukuran adalah sebagai berikut :

1. Siapkan peralatan dan kalibrasi *network analyzer* seperti prosedur kalibrasi alat ukur.
2. Sambungkan konektor SMA pada antenna ke port pada *network analyzer*, gunakan kabel untuk memudahkan pengukuran dan mengurangi efek gelombang pantul yang muncul apabila antenna langsung dihubungkan ke alat ukur (*network analyzer*)
3. Tekan tombol *measure* untuk melakukan pengukuran
4. Pilih mode pengukuran, pengukuran apa yang ingin dilakukan, *logmag* untuk mengukur *return loss* dalam satuan desibel, *VSWR* untuk pengukuran *VSWR*, dan *smith* untuk pengukuran impedansi *input* dari antenna.

5. Setelah data hasil pengukuran muncul maka selanjutnya tekan tombol *hold* untuk menghentikan proses pengukuran dan merekam data.
6. Pasang marker pada titik-titik tertentu seperti batas bawah, dan batas atas frekuensi.
7. Simpan data hasil pengukuran dengan menekan tombol *save*. Atur tempat penyimpanan dan tipe file yang akan disimpan. Terdapat beberapa tipe file seperti png yang berupa gambar grafik hasil pengukuran, atau csv yang berupa tabel hasil pengukuran.

Untuk *bandwidth* didapatkan dengan cara mencari selisih batas atas dan batas bawah frekuensi yang nilainya lebih kecil dari -10 dB pada pengukuran *return loss*.

3.4.2.3 Prosedur Pengukuran Gain

Langkah-langkah pengukuran *gain* adalah sebagai berikut :

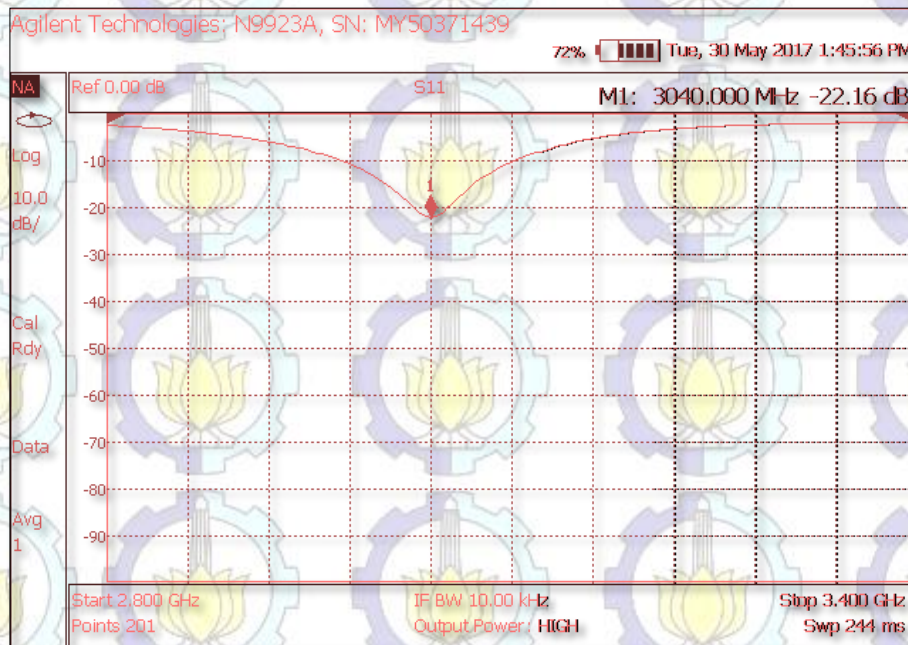
1. Siapkan peralatan berupa *spectrum analyzer*, *signal generator*, dan konektor yang dibutuhkan.
2. Atur jarak pengukuran, dengan mengikuti jarak minimum medan jauh dari antenna *microstrip patch rectangular*.
3. Mengatur tinggi dari antenna *receiver* dan *transmitter* terhadap permukaan tanah. Ketinggian minimum dari antenna mengikuti persamaan freshnel zone tingkat 1.
4. Setelah antenna pada posisi yang telah ditentukan. Langkah selanjutnya adalah menyambungkan antenna referensi dengan *transmitter* dan *receiver* dengan antenna *microstrip*. Lalu nyalakan *signal generator* sebagai *transmitter* pada frekuensi 3,1 GHz.
5. Setelah *sinjal generator* dinyalakan maka catat daya yang diterima (P_t) oleh *spectrum analyzer*.
6. Selanjutnya tukar posisi antenna *microstrip* dengan antenna *referensi* sehingga antenna *microstrip* tersambung dengan *transmitter* dan antenna *referensi* tersambung dengan *receiver*. Lalu ukur dan catat daya yang diterima (P_s).

3.4.2.4 Hasil Pengukuran Antena Microstrip Patch Rectangular

Sub bab ini membahas mengenai pemaparan hasil pengukuran yang sudah dilakukan. Hasil pengukuran yang telah diukur antara lain *return loss*, *bandwidth*, *VSWR*, *losses cable*, dan parameter S antenna *microstrip patch rectangular*.

3.4.2.5 Hasil Pengukuran *Return Loss*

Return loss merupakan salah satu parameter penting pada perancangan antenna, karena *return loss* menyatakan perbandingan daya yang dipantulkan kembali oleh antenna. Nilai *return loss* menentukan besarnya *bandwidth* antenna. Perubahan nilai *return loss* mengikuti perubahan frekuensi. Nilai *return loss* pada pengukuran dinyatakan dalam parameter S11. Nilai *return loss* hasil pengukuran dapat dilihat pada gambar 3.6.



Gambar 3.9 *Return Loss* Antena Microstrip

Dari hasil pengukuran dengan *Vector Network Analyzer* dan simulasi pada software CST terdapat perbedaan nilai parameter S11. Hasil pengukuran dengan alat ukur VNA didapatkan nilai S11 sebesar -22,16 dB, sementara pada hasil simulasi dengan *software* CST diperoleh hasil parameter S11 sebesar -23,83 dB. Dari hasil perhitungan dan simulasi dengan CST diperoleh persen error sebesar 7%.

3.4.2.6 Hasil Pengukuran *Bandwidth* Antena Microstrip Patch Rectangular

Pada penelitian ini *bandwidth* yang direncanakan akan diamati adalah sebesar 500 MHz, sesuai dengan ketentuan *bandwidth* UWB untuk komunikasi *narrowband* adalah $< 20\%$. Sedangkan dari hasil perhitungan menggunakan persamaan 2.13 maka diperoleh nilai BW antenna sebesar :

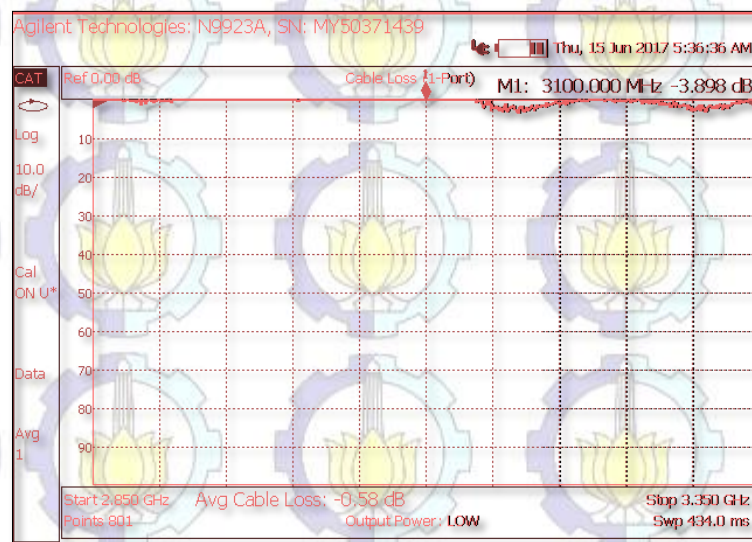
$$BW = \frac{f_1 - f_2}{f_c} \times 100\%$$

$$BW = \frac{3,35 \text{ GHz} - 2,85 \text{ GHz}}{3,1 \text{ GHz}} \times 100\%$$

$$BW = 16,13 \%$$

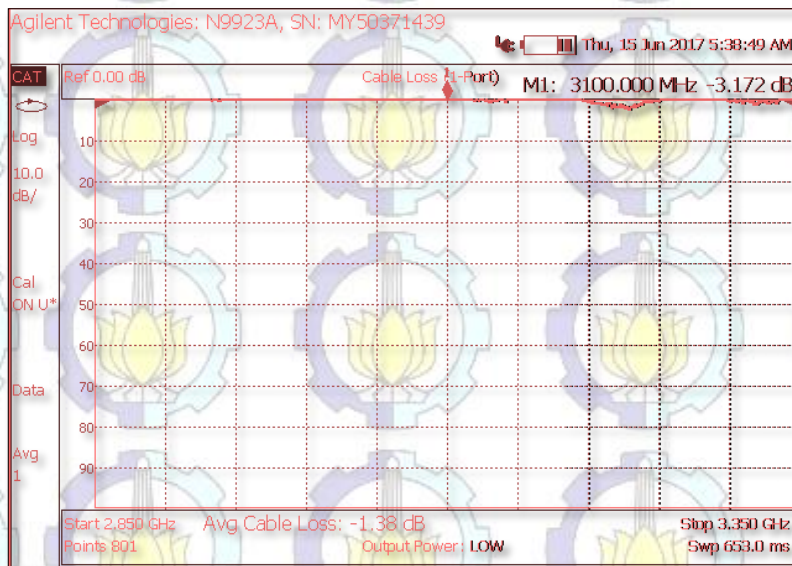
3.4.2.7 Hasil Pengukuran *Losses Cable Antena Microstrip Patch Rectangular*

Pada penelitian ini digunakan beberapa jenis kabel RG 58 dengan panjang yang berbeda-beda mulai dari 60 cm, 100cm, dan 155 cm. Dari hasil pengukuran dengan menggunakan *Vector Network Analyzer* diperoleh nilai *losses Cable* sebesar -3,898 dB untuk panjang kabel 60 cm.



Gambar 3.10 *Losses Cable* sepanjang 60 cm

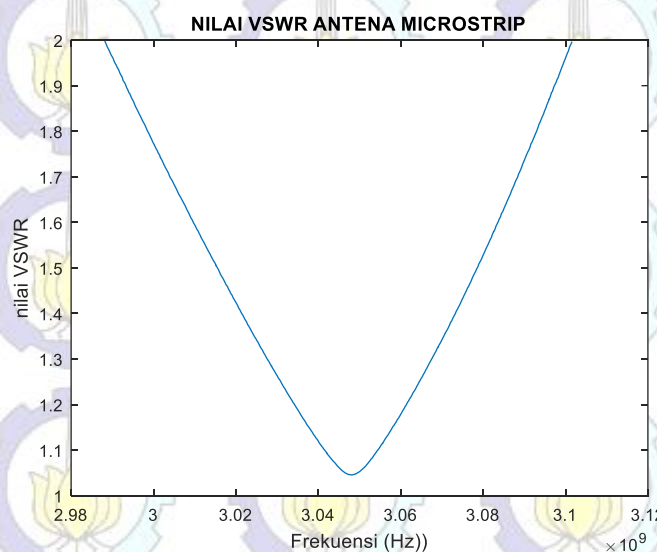
Sedangkan untuk kabel RG 58 yang panjangnya 100 cm memiliki nilai *losses cable* sebesar -3,172 dB.



Gambar 3.11 *Losses Cable* sepanjang 100 cm

3.4.2.8 Hasil Pengukuran VSWR Antena *Microstrip Patch Rectangular*

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran nilai VSWR antena *microstrip patch rectangular* dengan menggunakan *Vector Network Analyzer* dan pengukuran dengan simulasi pada *software CST*. Hasil pengukuran nilai VSWR yang diperoleh dari *software CST* adalah sebesar 1.423, sedangkan hasil pengukuran VSWR antena dengan VNA adalah 1.309 untuk frekuensi tengah 3.1 GHz. Dari perbedaan ini terdapat per error sebesar 8%. Nilai VSWR antena yang diijinkan adalah kurang dari 2.



Gambar 3.12 Nilai VSWR Antena *Microstrip* Hasil Pengukuran dengan VNA

3.4.3 Hasil Perhitungan Medan Radiasi Antena

Dalam penelitian ini medan radiasi antena perlu dihitung karena untuk menentukan daerah medan jauh dan medan dekat antena. Adapun rumusan yang di pergunakan untuk menghitung medan dekat dan medan jauh antena adalah persamaan 2.23 sampai 2.25. pada penelitian ini antena *microstrip patch* yang digunakan memiliki dimensi maksimum sebesar 6.5 cm (0.065 m) dan panjang gelombang sebesar 0.09 m.

Untuk perhitungan medan jauh antena (daerah *Fraunhofer*) digunakan persamaan 2.23 :

$$r > \frac{2D^2}{\lambda}$$

Diperoleh hasil jarak maksimum medan jauh (daerah *Fraunhofer*) sebesar :

$$r > \frac{2 (0.065)^2}{0.09}$$

$$r > 0.94 \text{ m}$$

$$r > 94 \text{ cm}$$

Sedangkan untuk perhitungan medan dekat (daerah *Fresnel*) digunakan persamaan 2.24 :

$$0,62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \leq R \leq 2 \frac{D^2}{\lambda}$$

Diperoleh hasil jarak maksimum medan dekat (daerah *Fresnel*) sebesar :

$$0.62 \sqrt{\frac{0.065^3}{0.09}} \leq R \leq 2 \frac{0.065^2}{0.09}$$

$$0.62 \times 0.216 \leq R \leq 2 \times 0.469$$

$$0.13 \text{ m} \leq R \leq 0.938 \text{ m}$$

$$13 \text{ cm} \leq R \leq 93.8 \text{ cm}$$

Sedangkan medan dekat relatif dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.25 sebagai berikut :

$$R < 0,62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}}$$

$$R < 0.62 \sqrt{\frac{0.065^3}{0.09}}$$

$$R < 0.62 \times 0.055$$

$$R < 0.034 \text{ m}$$

$$R < 3,4 \text{ cm}$$

3.4.4 Vector Network Analyzer (VNA) Agilent N9923A

Pada penelitian ini baik pada sisi pemancar maupun sisi penerima, sistem akuisisi data menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA) Agilent N9923A dengan spesifikasi seperti pada Tabel 3.2 berikut:

Tabel 3.4 Spesifikasi Vector Network Analyzer (VNA) Agilent N9923A

Parameter	Nilai
VNA Type	Agilent N9923A
Frequency	2-6 GHz
Number of point	801
IF Bandwidth	10kHz
Sweep Time	Auto (740ms)
Calibration	Full Two Port
Tx Power	0 dB
Input Impedance	50 Ohm

3.5 Set Up Pengukuran

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran kanal jaringan area tubuh nirkabel menggunakan antena *microstrip patch rectangular* yang beroperasi pada frekuensi 3,1 GHz berdasarkan standar spesifikasi IEEE P802.15-08-0780-09-0006. Pengukuran dilakukan di ruang B-305, Laboratorium Antenna dan Propagasi ITS. *Setup* terdiri dari VNA, sepasang antena *microstrip patch rectangular* yang menempel pada tubuh manusia, dan *low-loss* kabel yang menghubungkan VNA dengan antena yang dikenakan di tubuh.

Tahap awal adalah pemasangan antena *microstrip* dengan kabel dan dihubungkan dengan VNA. Selanjutnya dilakukan *setting* pengukuran pada VNA yang meliputi :

1. *Setting Frekuensi*

Langkah dalam melakukan pengaturan frekuensi VNA yaitu tekan *Freq/ Dist* → *Start Freq* → *Stop Freq* → *Center Freq* → *Freq Span* → *Save*.

2. *Setting Resolusi Pengukuran*

Langkah dalam melakukan pengaturan Resolusi pengukuran pada VNA yaitu tekan *Measure Set Up* → *Resolution* → Pilih Resolusi yang diinginkan → OK → *Save*.

3. *Setting Marker dan sweep time*

Langkah dalam melakukan pengaturan *marker* dan *sweep time* pada VNA yaitu tekan *Measure Set Up* → *Resolution* → Pilih Resolusi yang diinginkan → OK → *Save*.

Langkah dalam pengambilan data pengukuran dengan menggunakan VNA adalah sebagai berikut :

a. Pengambilan data pengukuran berupa magnitudo S21

Langkah dalam melakukan pengambilan data magnitudo S21 pada VNA yaitu tekan Mode → NA → S21 → Measure → Format → LogMag → *Hold/Run* → *Save/Recall* → *Save* → Tentukan format penyimpanan → Beri nama File → *Done*.

b. Pengambilan data pengukuran berupa *phase*

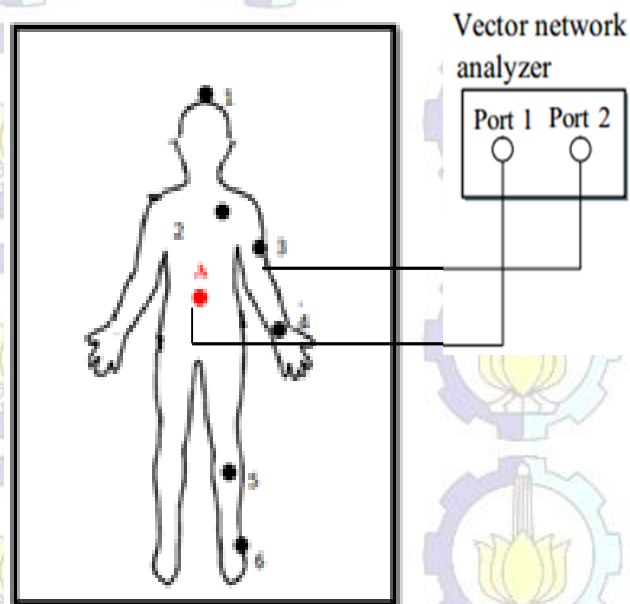
Langkah dalam melakukan pengambilan data magnitudo S21 pada VNA yaitu tekan Mode → NA → S21 → Measure → Format → *Phase* → *Hold/Run* → *Save/Recall* → *Save* → Tentukan format penyimpanan → Beri nama File → *Done*.

Sebelum pengukuran dilakukan, terlebih dahulu dilakukan pengaturan frekuensi bawah dan frekuensi atas pengukuran dengan cara memasang antenna pada *probe* VNA. Pada tahap ini dilakukan pengaturan frekuensi bawah 2,95 GHz dan frekuensi atas 3,15 GHz, setelah itu dilihat nilai VSWR yang terbaca pada VNA yaitu dari frekuensi 2,985225 GHz – 3,101525 GHz. Selain itu, nilai resolusi diatur sebesar 801, penentuan nilai resolusi ini dimaksudkan untuk mengambil *sample* sebanyak 801 dari range frekuensi tersebut.

Dari hasil pengukuran VSWR antenna diperoleh nilai VSWR yang baik (nilainya dibawah 2), terdapat pada frekuensi 2,988525 GHz hingga 3,101525 GHz sebanyak 413 *sample*. Dari data batas bawah dan batas atas frekuensi efektif antenna diperoleh nilai tengah frekuensi yaitu pada 3,04 GHz.

Pada pengukuran, dilakukan pengaturan posisi Tx dan Rx seperti pada gambar 3.3. Penempatan antenna Tx adalah pada titik sampel anggota tubuh yang akan diamati, antenna pemancar Tx ini kemudian dihubungkan ke port 1 VNA menggunakan kabel dan konektor SMA to N. Sedangkan antenna penerima Rx ditempatkan di bagian tengah tubuh orang yang diamati, yaitu di perut. Posisi antenna Rx tidak berubah-ubah selama pengukuran berlangsung. Titik sampel dan jarak antara Tx ke Rx dapat dilihat pada tabel 3.5. Pada saat pengukuran diambil data magnitudo S_{21} dan data *phase*, masing-masing diambil 5 kali *snapshot* agar data bisa dibandingkan nilai keluaran rata-ratanya.

Pada saat pengukuran dilakukan, objek yang diamati adalah tubuh manusia dengan kriteria berat badan 68 kg dan tinggi badan 180 cm. Objek yang diukur dipastikan tidak mengenakan aksesoris pakaian yang berasal dari logam, mengenakan pakaian yang berbahan kain katun dengan ketebalan kurang dari 0,5 cm dan tidak memakai alas kaki. Pengukuran juga dibagi dalam beberapa skenario yang akan dijelaskan pada sub bab skenario pengukuran.



Gambar 3.13 Posisi Tx dan Rx pada pengukuran Tampak Depan



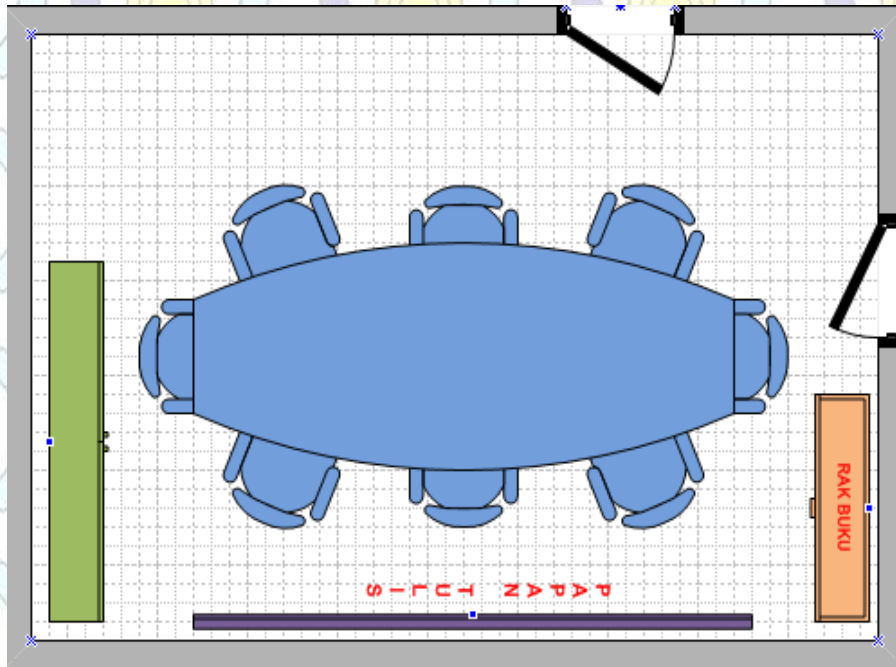
Gambar 3.14 Foto Objek Pengukuran dengan skenario (LOS) dan NLOS

Pada gambar 3.14 diketahui bahwa pengukuran pada kondisi lintasan LOS dilakukan pada kondisi objek berdiri dan pemasangan antenna penerima di bagian perut dengan jarak sekitar 125 cm dari lantai ruang pengukuran. Sedangkan untuk pengukuran pada kondisi lintasan NLOS dilakukan pada kondisi objek berdiri dengan pemasangan antenna penerima pada punggung dengan jarak sekitar 130 cm dari lantai ruang pengukuran. Masing-masing pengukuran pada 6 titik tubuh dilakukan pengambilan data 5 kali *snapshoot*.



Gambar 3.15 Set Up Pemasangan Alat Ukur

Adapun denah lokasi pengukuran adalah di ruang B-305 Laboratorium Antena dan Propagasi.



Gambar 3.16 Layout Ruang pengukuran (Ruang B-305)

3.6 Skenario Pengukuran

Ada beberapa skenario yang dilakukan untuk pengukuran kanal jaringan area tubuh nirkabel menggunakan antenna *microstrip patch rectangular*. Secara garis besar, skenario dibedakan menjadi dua macam yaitu :

a. Pengukuran kanal *on body to body surface*

On body - to body surface merupakan pengukuran parameter kanal dimana peletakan antenna Tx dan Rx sama-sama pada permukaan tubuh manusia. Peletakan antenna pada jarak maksimal 2 cm dari kulit, dengan arah yang saling berhadapan satu sama lain. Sudut kemiringan yang masih diijinkan adalah 30° (sesuai HPBW) dari antenna yang digunakan. Selanjutnya model kanal dari pengukuran ini disebut Model Kanal 3(CM3).

b. Pengukuran kanal *on body to external node*

On body to external node merupakan pengukuran parameter kanal dimana peletakan antenna Tx pada titik diluar tubuh, dalam hal ini antenna Tx diletakkan di dinding tembok ruang pengamatan. Sedangkan antenna Rx diletakkan pada tubuh objek yang diamati yaitu di bagian dada (ketinggian sekitar 125 cm) dari lantai dan

jarak antara orang yang menjadi objek pengamatan terhadap dinding tembok tempat antenna Tx diletakkan adalah 1,5 meter.

3.6.1 Pengukuran Kanal Tubuh *On Body to Body Surface* (CM3)

Pada penelitian ini pengukuran parameter kanal yang propagasinya ditimbulkan oleh tubuh akan diambil data parameter S21 secara acak dengan posisi antenna pemancar dan antenna penerima terletak pada permukaan tubuh. Data yang diambil dari masing-masing titik pengamatan sebanyak 5 kali *snapshot*, kemudian dihitung nilai rata-ratanya.

Adapun skenario untuk pengambilan data parameter kanal pada *Channel Model 3* (CM3) terdapat 3 hal yang akan dibandingkan yakni :

- a. Objek pengukuran tidak sedang beraktivitas, pengambilan data pengukuran dilakukan saat objek dalam keadaan berdiri. Pengambilan data dilakukan 2 tahap untuk mewakili skenario lintasan *Line Of Sight* (LOS) dan *non Line Of Sight* (NLOS).
- b. Objek pengukuran melakukan aktivitas berjalan cepat dan naik turun tangga, sebelum dilakukan pengambilan data pengukuran objek diharuskan melakukan aktivitas berjalan cepat naik turun tangga selama 20 menit. Pengambilan data juga dilakukan 2 tahap untuk mewakili kondisi lintasan *Line of Sight* (LOS) dan *Non Line Of Sight* (NLOS).
- c. Objek pengukuran melakukan aktivitas berlari kecil (*jogging*), sebelum dilakukan pengambilan data pengukuran objek diharuskan melakukan aktivitas berlari kecil dengan lintasan lurus dan tidak berkelok. Kegiatan ini dilakukan selama 20 menit. Pengambilan data dilakukan 2 tahap untuk mewakili kondisi lintasan *Line of Sight* (LOS) dan *Non Line Of Sight* (NLOS).

Dalam Pengamatan *Channel Model 3* (CM3), skenario diatas dipilih dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh keanekaragaman aktivitas terhadap model *pathloss* dan model *Power Delay Profile* (PDP) yang akan didapatkan. Selain itu untuk mengetahui hubungan antara titik tubuh yang aktif melakukan aktivitas dengan *pathloss* yang dihasilkan. Hal ini nantinya akan dapat dimanfaatkan pada pembuatan berbagai aplikasi yang mampu mendukung dunia kesehatan.

Tabel 3.5 Skenario Lokasi Pengukuran Kanal Tubuh untuk *Channel Model 3* (CM3)

Skenario	Posisi Tx	Posisi Rx	Jarak Tx - Rx (mm)
LOS	Dahi (Tx1)		720
	Dada (Tx2)		270
	Lengan Kanan (Tx3)	Perut (Rx)	440
	Pergelangan Tangan (Tx4)		375
	Lutut (Tx5)		725
	Pergelangan Kaki (Tx6)		1000
NLOS	Dahi (Tx1)		720
	Dada (Tx2)		270
	Lengan Kanan (Tx3)	Punggung (Rx)	440
	Pergelangan Tangan (Tx4)		375
	Lutut (Tx5)		725
	Pergelangan Kaki (Tx6)		1000

Tabel 3.6 Skenario Pengukuran Kanal Tubuh Berdasarkan Keanekaragaman Aktivitas

Jenis Aktivitas	Posisi Objek	Jenis Pengamatan
Tidak Beraktivitas	Berdiri	LOS
		NLOS
Berjalan cepat naik turun tangga	Berdiri	LOS
		NLOS
Berlari dengan lintasan lurus	Berdiri	LOS
		NLOS

3.6.2 Pengukuran Kanal Tubuh *On Body Surface to External Node* (CM4)

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran kanal antara permukaan tubuh dengan *node* eksternal yang propagasinya dipengaruhi oleh tubuh dan kondisi lingkungan. Beberapa skenario yang diamati antara lain :

- Berdasarkan variasi ketinggian antenna Tx. Pada skenario ini antenna pemancar (Tx) diletakkan di dinding ruangan pengukuran dan antenna penerima (Rx) di letakkan pada permukaan tubuh (dada) dengan jarak sekitar 125 cm dari lantai ruang pengukuran. Perubahan ketinggian antenna bervariasi mulai dari 0,5 m, 1 m, 1,5 m dan 2 m dari lantai ruang pengukuran. Posisi objek berapa pada jarak

1,5 meter dari dinding tembok tempat antenna Tx diletakkan. Masing-masing titik pengamatan diambil 5 kali *snapshot*. Pengukuran dilakukan 2 tahap, untuk mewakili kondisi lintasan *Line Of Sight* (LOS) posisi Rx diletakkan di dada objek, sedangkan untuk mewakili kondisi *Non Line Of Sight* (NLOS) posisi Rx diletakkan di bagian punggung objek pengamatan.

- b. Berdasarkan variasi ketinggian Tx, pada saat pengambilan data pengukuran Rx tidak diletakkan pada permukaan tubuh melainkan pada media tiang kayu. Pengukuran ini dilakukan untuk menganalisa efek yang diberikan oleh tubuh terhadap propagasi lingkungan *indoor* (skenario pada point a). Dari pengukuran ini nantinya akan diperoleh data *pathloss* antara pemancar ke penerima tanpa ada pengaruh tubuh manusia. Pada skenario ini juga diambil dua jenis data pengukuran yaitu LOS dan NLOS.

Tabel 3.7 Pengukuran Kanal dengan Ketinggian Antena Tx bervariasi untuk Channel Model 4 (CM4)

Skenario	Nama Ruang	Perubahan Ketinggian Tx (m)			
LOS	B-305	0,5	1	1,5	2
NLOS	B-305	0,5	1	1,5	2

Tabel 3.8 Pengukuran Kanal dengan Media Tiang Kayu

Skenario	Nama Ruang	Tinggi Tx (m)	Tinggi Tx (m)	Tinggi Tx (m)	Tinggi Tx (m)
LOS	B-305	0,5	1	1,5	2
NLOS	B-305	0,5	1	1,5	2

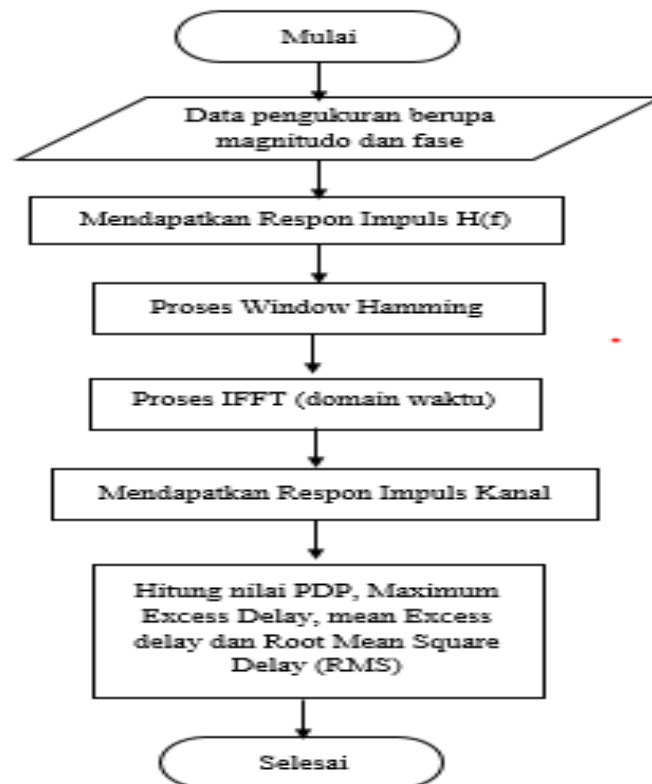
3.7 Proses Pengukuran dan Pengolahan Data

Setelah melakukan proses kalibrasi dan inisialisasi antenna dan VNA maka pengukuran baru dapat dilakukan. Dalam pengukuran CM3 antenna Tx diletakkan pada tubuh objek sesuai dengan skenario yang telah ditetapkan sebelumnya, sedangkan posisi Rx pada perut yang berjarak sekitar 100 cm dari lantai ruang pengukuran. Setiap data pengukuran yang dihasilkan ada 3 jenis parameter yaitu frekuensi, magnitudo dan *phase*.

3.7.1 Pengolahan Data Hasil Pengukuran

Data Pengukuran yang diperoleh dari VNA berupa besaran vektor magnitudo dan *phase* dari masing-masing frekuensi yang tersampling. Pada penelitian ini ditetapkan frekuensi bawah yaitu 2,988225 GHz dan frekuensi atas yaitu 3,101525 GHz sehingga diperoleh *bandwidth* pengukuran sebesar 113,3 MHz. Dari rentang *bandwidth* sebesar 113,3 MHz ini terdapat 413 frekuensi sampling sehingga diperoleh resolusi delay sebesar 8,8 ns antar sub sampling.

Adapun alur pengolahan data pengukuran dapat dilihat pada gambar 3.17 dibawah ini.



Gambar 3.17 Diagram Alir Pengolahan Data Pengukuran

a. Respon Frekuensi Kanal *Bandpass* Hbp (f)

Respon frekuensi kanal *bandpass* diperoleh dari magnitudo hasil pengukuran pada frekuensi tersampling. Dalam pengukuran ini terdapat 413 sampling frekuensi pada rentang *bandwidth* 113,3 MHz sehingga diperoleh rentang frekuensi antar sub sampel sebesar $\Delta f = 275$ KHz.

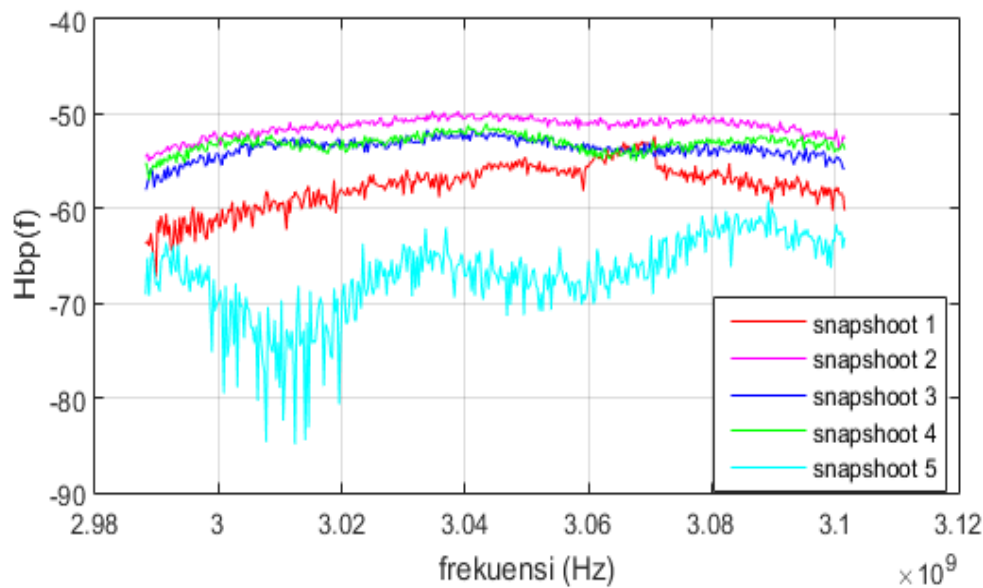
Pada penelitian ini data pengukuran yang diperoleh seluruhnya sebanyak 180 data untuk propagasi tubuh *on body to on body surface* (CM3) dengan perincian sebagai berikut:

- a. Kondisi objek tidak beraktivitas (LOS dan NLOS), dengan pengambilan data masing-masing di 6 titik tubuh yang diukur, masing-masing titik tubuh yang diamati diambil 5 kali *snapshot*.
- b. Kondisi objek beraktivitas berjalan naik turun tangga selama 20 menit (LOS dan NLOS), dengan pengambilan data masing-masing di 6 titik tubuh yang diukur, masing-masing titik tubuh yang diamati diambil 5 kali *snapshot*.
- c. Kondisi objek beraktivitas berlari kecil dengan lintasan lurus dan tidak berkelok selama 20 menit (LOS dan NLOS), dengan pengambilan data masing-masing di 6 titik tubuh yang diukur, masing-masing titik tubuh yang diamati diambil 5 kali *snapshot*.

Selain itu untuk pengambilan data pengukuran untuk jenis propagasi *on body surface to external node* (CM4) secara keseluruhan terdapat 80 dengan perincian sebagai berikut :

- a. Skenario peletakan antenna *transmitter* Tx di dinding tembok ruang pengukuran, dengan pengambilan data pada ketinggian Tx bervariasi mulai dari 0.5 meter, 1 meter, 1.5 meter dan 2 meter sedangkan antenna penerima Rx diletakkan diatas permukaan tubuh pada posisi 1.25 meter dari lantai ruang pengukuran (posisi di dada). Pengamatan dilakukan pada kondisi lintasan LOS dan NLOS dan setiap titik diambil data 5 kali *snapshot*.
- b. Skenario peletakan antenna *transmitter* Tx di dinding tembok ruang pengukuran, dengan pengambilan data pada ketinggian Tx bervariasi mulai dari 0.5 meter, 1 meter, 1.5 meter dan 2 meter sedangkan peletakan antenna penerima Rx adalah pada media kayu dengan ketinggian 1.25 meter dari lantai ruang pengukuran. Pengamatan dilakukan pada kondisi lintasan LOS dan NLOS dan setiap titik pengamatan diambil data 5 kali *snapshot*.

Pengukuran dengan media kayu dan media tubuh ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar efek adanya tubuh terhadap *pathloss* yang dihasilkan untuk *link* komunikasi *on body surface to external node*.



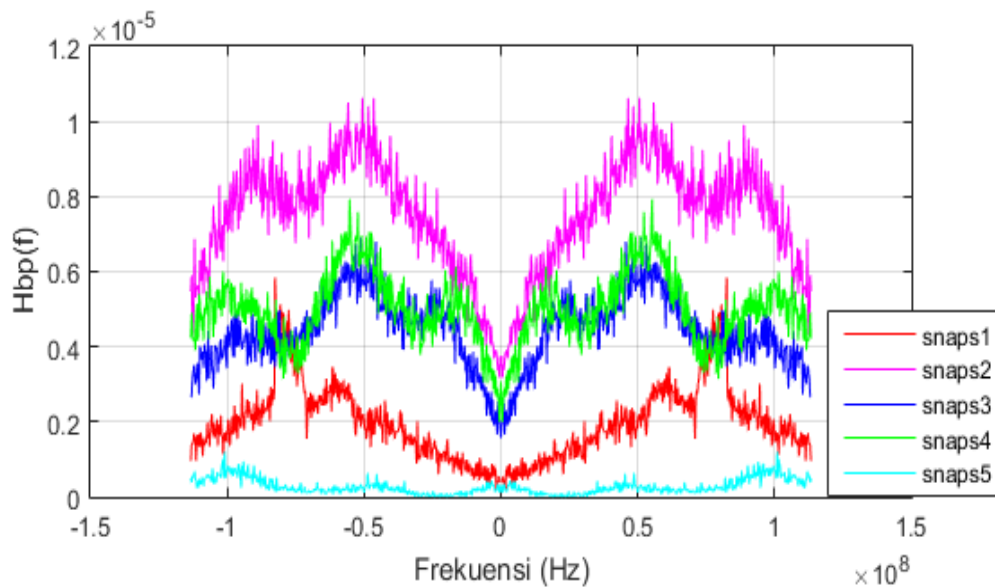
Gambar 3.18 Respon Frekuensi Kanal $H_{bp}(f)$

Pada gambar 3.18 dapat dilihat salah satu hasil pengukuran terhadap tubuh dalam 5 kali *snapshot*. Dari rentang frekuensi 2,985225 GHz – 3,101525 GHz terlihat adanya fluktuasi nilai magnitudo yang terukur. Pada pengambilan data *snapshot* kelima terjadi fluktuasi yang cukup besar.

b. Respon Frekuensi Kanal *Lowpass* $H_{lp}(f)$

Proses pengolahan sinyal selanjutnya adalah mengubah sinyal *bandpass* menjadi *lowpass*. Pada tahap ini dilakukan pergeseran frekuensi bawah ke titik nol sehingga frekuensi atas juga mengalami pergeseran menjadi 113,3 MHz. Selanjutnya dilakukan pencerminan ke arah sumbu-x negatif sehingga didapatkan rentang frekuensi $H_{lp}(f)$ dari frekuensi -113,3 MHz hingga 113,3 MHz yang terbagi ke dalam 825 titik sampel.

Proses selanjutnya adalah mencari $H_{lp}(f)$ dengan mengalikan magnitudo dan phase sesuai persamaan 2.5 sehingga didapatkan nilai $H_{lp}(f)$ dalam bentuk kompleks. Setelah itu dilakukan plot nilai absolut $H_{lp}(f)$ seperti terlihat pada gambar 3.19. Pada gambar terlihat 5 nilai $H_{lp}(f)$ yang mewakili 5 kali *snapshot*.



Gambar 3.19 Respon Frekuensi Kanal $H_{lp}(f)$

c. Perkalian dengan Window *Hamming*

Sebelum proses IFFT dilakukan terlebih dahulu fungsi transfer $H_{lp}(f)$ dikalikan dengan windowHamming $W(f)$. Proses IFFT dilakukan saat data sudah dalam bentuk linier atau $H_{lp}(f)$ linier. Prinsipnya cukup sederhana, jika dalam domain frekuensi suatu sinyal bersifat nonperiodik (fungsinya terbatas) maka dalam domain waktu akan didapatkan fungsi yang bersifat periodik (fungsinya tak terbatas), begitu pula sebaliknya.

Karena filter bersifat terbatas dalam domain frekuensi (hanya melewati frekuensi tertentu) maka dalam domain waktu adalah tak terbatas. Oleh karena itu dilakukan pembatasan dalam domain waktu dengan metode windowing. Perkalian antara data dan window bertujuan untuk menghilangkan efek kontinyu pada saat proses IFFT berlangsung, selain itu juga menghindari efek *aliasing*. Hasil perkalian antara $H(f)$ dan $W(f)$ menghasilkan fungsi $H_{lpw}(f)$ yang dituliskan secara matematis sebagai berikut :

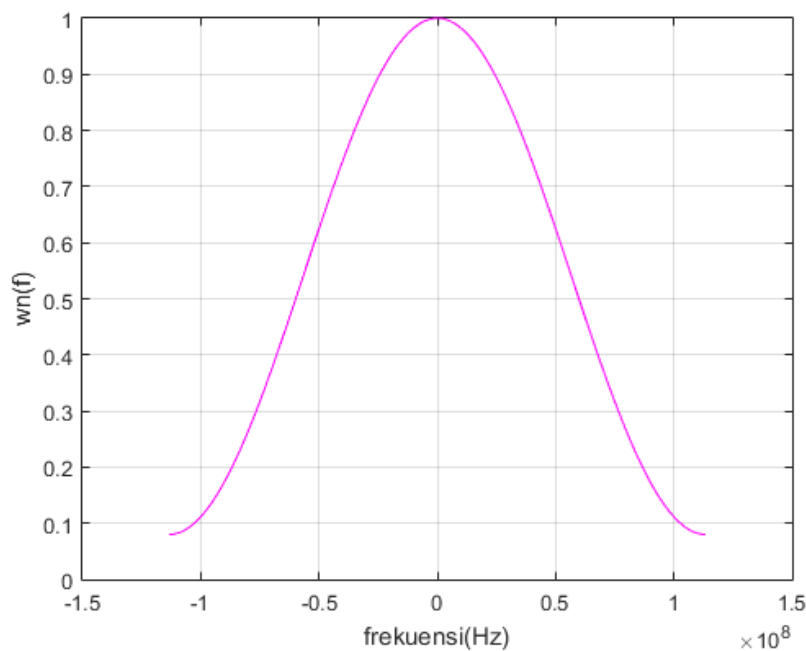
$$H_{lpw}(f) = H_{lp}(f) \times W(f)$$

Jenis window yang digunakan adalah window hamming, pemilihan window hamming dilakukan karena dalam domain frekuensi window ini memiliki lebar pita frekuensi lobe utama (*main lobe*) yang lebar yaitu -43dB sehingga menghasilkan *time* resolusi kecil. Hal ini perlu diperhatikan mengingat pengukuran

dilakukan pada pita lebar (*wideband*). Secara matematis window hamming dirumuskan sebagai berikut :

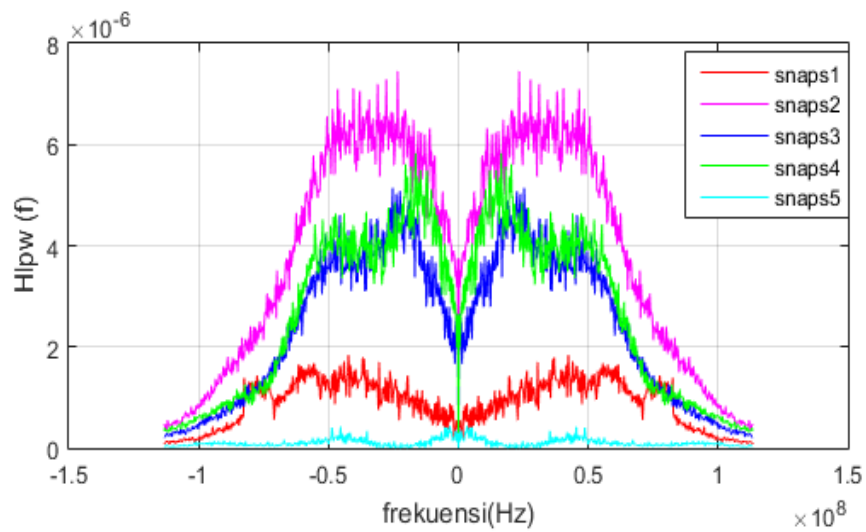
$$W(f) = \begin{cases} 0.54 - 0.46 \cos(2\pi f), & f_1 \leq f \leq f_2 \\ 0 & f \text{ lainnya} \end{cases}$$

Berikut ini adalah grafik window hamming dalam domain frekuensi dan contoh $H_{lpw}(f)$ untuk salah satu hasil pengukuran pada penelitian ini. Data ini selanjutnya akan diolah menjadi respons impuls kanal pada domain waktu.



Gambar 3.20 Tampilan Window *Hamming* dalam domain frekuensi

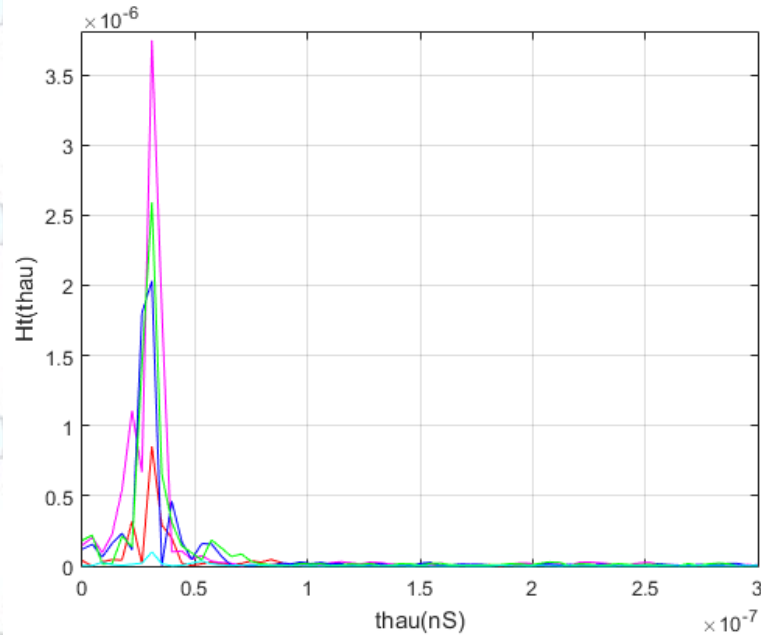
Dari gambar 3.21 diketahui bahwa terdapat perubahan sinyal yaitu terlihat *mainlobe* lebih lebar dan *sidelobe* lebih landai jika dibandingkan dengan sinyal $H_{lp}(f)$. Proses selanjutnya adalah mencari respon impuls kanal pada domain waktu (H_t) dengan melakukan proses IFFT.



Gambar 3.21 Hasil Perkalian $H_{lp}(f)$ Linear dengan $W(f)$

3.7.2 Respon Impuls Kanal

Untuk memperoleh respon impuls kanal pada domain waktu, maka data perlu diproses sedemikian hingga dengan teorema IFFT (*Inverse Fast Fourier Transform*). Data $H_{lpw}(f)$ diubah ke domain waktu dengan IFFT menghasilkan respon impuls kanal pada domain waktu.



Gambar 3.22 Respon Impuls Kanal $H_t(\tau)$

Pada gambar 3.22 dapat diketahui bahwa dari 5 kali snapshot diperoleh nilai $H_t(\tau)$ yang bervariasi. Dari gambar diketahui nilai resolusi *delay* ($\Delta\tau$) sebesar 4,4 nS dan delay maksimum (τ_{max}) = 3,6364 μ S. Selain itu nilai resolusi jarak dapat dihitung dengan cara :

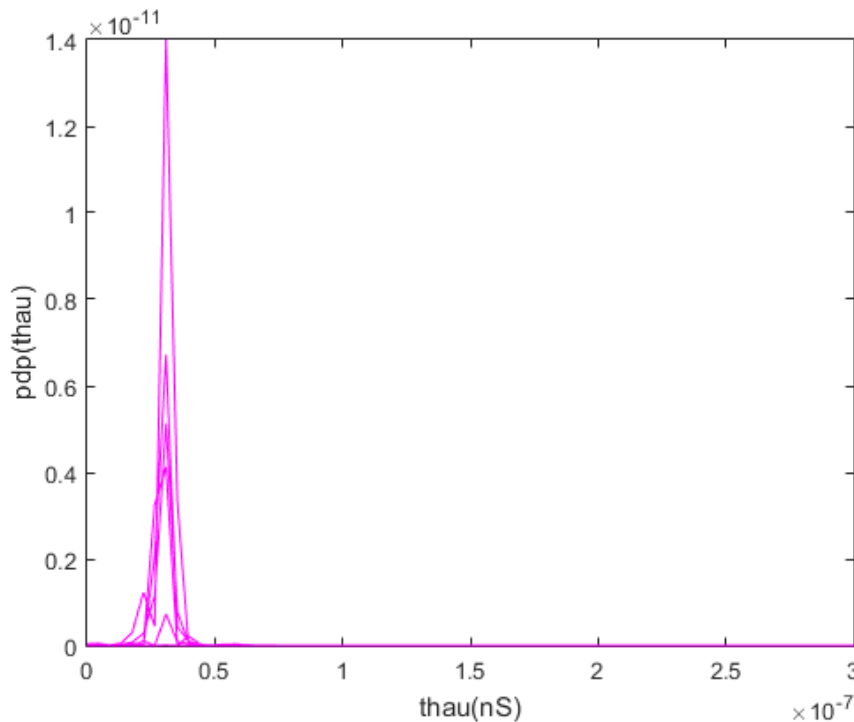
$$\Delta\tau = \frac{1}{B_{lp}} = \frac{1}{226,6 \cdot 10^6} = 4,4 \text{ nS}$$

$$\tau_{max} = 825 \times 4,4 \text{ nS} = 3,6364 \mu\text{S}$$

$$\Delta r = \frac{c}{B_{lp}} = \frac{3 \cdot 10^8}{226,6^6} = 1,33 \text{ m}$$

3.7.3 Pengolahan Data PDP dan Parameter Statistik

Proses selanjutnya adalah mencari nilai *power delay profile* (PDP). Rata-rata dari nilai absolut sinyal kuadrat merupakan proses terakhir dalam menentukan *power delay profile* (PDP). Sesuai dengan persamaan 2.6 maka diperoleh nilai PDP seperti terlihat pada gambar 3.23. Pada penelitian ini dilakukan 5 kali snapshot dari setiap titik pengamatan sehingga diperoleh 5 nilai $H_{lp}(\tau)$. Kelima nilai $H_{lp}(\tau)$ tersebut kemudian dicari rata-rata nya sehingga didapatkan sebuah nilai $pdp(\tau)$ setiap 1 titik pengamatan. Contoh keluaran hasil PDP adalah sebagai berikut:



Gambar 3.23 Grafik *Power Delay Profile* ($pdp(\tau)$)

Dari nilai PDP yang telah diketahui selanjutnya dapat dicari parameter statistik yang meliputi *Maximum Excess Delay*, *Mean excess Delay* dan *RMS Delay Spread*. Nilai *Maximum Excess Delay* dapat dicari dengan menggunakan persamaan 2.7, sehingga diperoleh :

$$\text{Max excess delay} = 3,6364 \mu\text{S} - 0 = 3,6364 \mu\text{S}$$

Nilai *Mean Excess Delay* dapat dicari dengan menggunakan persamaan 2.8 , sehingga diperoleh :

$$\text{Mean Excess Delay} = 8,36 \mu\text{S}$$

Nilai *RMS Delay Spread* dapat dicari dengan menggunakan persamaan 2.9 , sehingga diperoleh :

$$\text{RMS Delay Spread} = 1,37 \mu\text{S}$$

3.7.4 Pengolahan Data Pathloss

Dalam pengukuran kali ini, *pathloss* tubuh yang diamati adalah *pathloss* pada bagian tubuh yang vital dan dimungkinkan akan sering terjadi fluktuasi ketika terjadi aktivitas seperti dada, dahi, lengan, pergelangan tangan, lutut dan kaki. Selain pemilihan titik pengamatan tersebut, hal lain yang akan diteliti adalah seberapa besar pengaruh dari aktivitas yang bervariasi terhadap *pathloss* yang dihasilkan. Berdasarkan persamaan 2.2 maka pengukuran *pathloss* dilakukan sebanyak 413 sampel dan 5 kali *snapshot* untuk masing-masing titik tubuh yang diamati. Adapun data yang diolah adalah magnitudo S21 hasil pengukuran dari VNA. Caranya adalah mencari nilai rata-rata dari 413 sampel magnitudo, kemudian dikalikan dengan rata-rata 5 kali *snapshot*. Perhitungan *pathloss* dilakukan setelah magnitudo S21 dikonversi menjadi nilai linear terlebih dahulu.

Sebagai referensi maka nilai *pathloss* yang dihasilkan melalui perhitungan dibandingkan dengan nilai *pathloss* hasil *fitting* pengukuran yang berdistribusi *log linear* terhadap jarak dengan menggunakan persamaan 2.3. Berikut ini contoh grafik *pathloss* berdasarkan pengukuran dan berdasarkan fungsi *log linear* terhadap jarak. Cara melakukan *fitting* adalah dengan mencari nilai koefisien a dan b serta *standart* deviasi dari hasil pengukuran. Sebagai contoh cara melakukan *fitting* adalah dengan mengumpulkan nilai logaritmik dari jarak dan *pathloss* hasil pengukuran untuk dimasukkan ke dalam persamaan linear :

$$y = a \times x + b$$

Dengan,

a dan b = koefisien hasil penurunan fitting pengukuran

$x = \log(\text{jarak})$ dalam mm

Sehingga bentuk persamaan menjadi

$$y = a \times \log d \text{ (mm)} + b$$

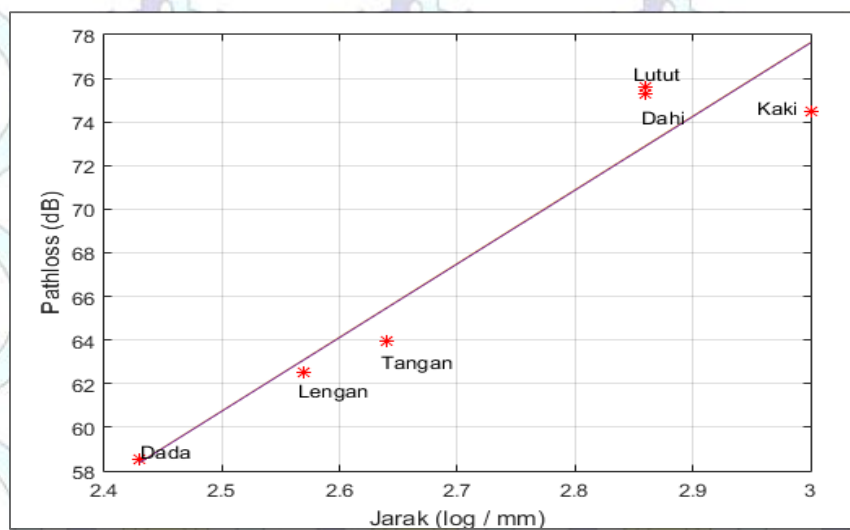
Sedangkan *standart deviasi* (σ_N) dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

$$\sigma_N = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (y_i - \bar{y})^2}$$

Sebagai contoh pada salah satu skenario pengukuran dengan keterangan sebagai berikut :

Tabel 3.9 Sebaran Titik Pengukuran dan Jarak antara Pemancar dan Penerima

Posisi Tx	Posisi Rx	Jarak Tx - Rx (mm)	Jarak Tx - Rx (log mm)
Dahi (Tx1)	Perut (Rx)	720	2.86
Dada (Tx2)		270	2.43
Lengan Kanan (Tx3)		440	2.57
Pergelangan Tangan (Tx4)		375	2.64
Lutut (Tx5)		725	2.86
Pergelangan Kaki (Tx6)		1000	3



Gambar 3.24 Grafik *Pathloss* untuk Kondisi LOS terhadap Variasi Jarak pemancar Ke penerima

Pada tabel 3.9 diketahui jarak dan nilai *pathloss* untuk titik tubuh tertentu sehingga diperoleh hasil fitting dengan menggunakan persamaan 2.3.

Tabel 3.10 Hasil Pengukuran *Pathloss* dengan Variasi Jarak (LOS)

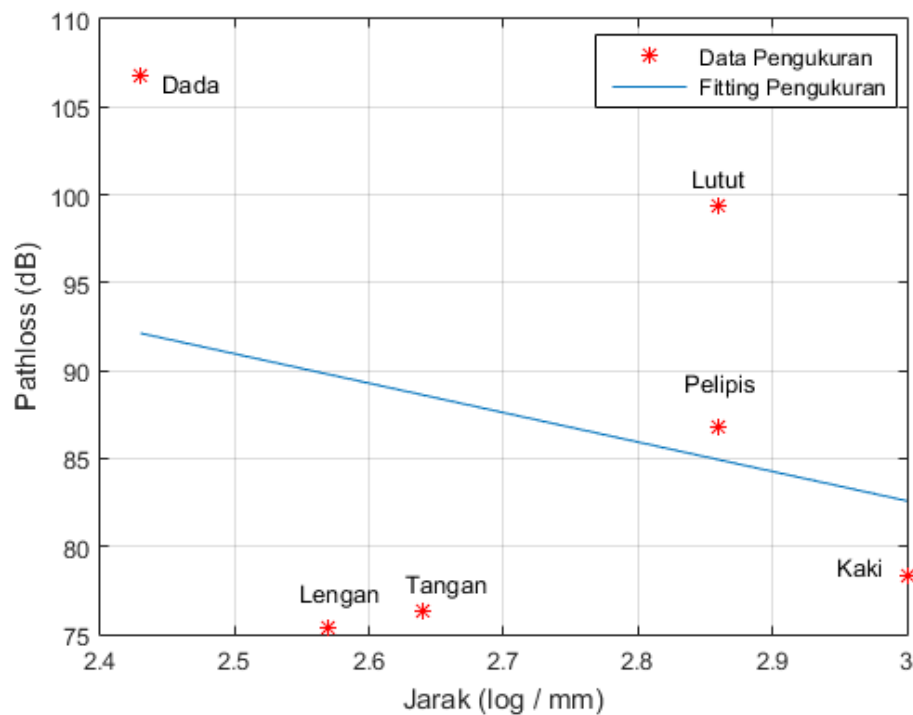
Titik Tubuh	Hasil Pengukuran	
	Jarak dari Rx log (d) mm (x)	Pathloss (dB) y
Dahi	2.86	75.63
Dada	2.43	58.54
Lengan	2.57	62.49
Tangan	2.64	63.97
Lutut	2.86	75.31
Kaki	3	74.47

Dari fitting perhitungan diperoleh nilai parameter a, b dan standart deviasi (σ_N) sebagai berikut:

Tabel 3.11 Hasil *Fitting* Pengukuran (LOS)

Parameter	a	b	σ_N
Nilai	33.78	-23.71	6.94

Selanjutnya pada gambar 3.25 diperoleh grafik pathloss dengan berbagai variasi jarak untuk kondisi lintasan NLOS. Dari hasil pengukuran dilakukan fitting untuk memperoleh nilai a, b dan *standart* deviasi.



Gambar 3.25 Grafik *Pathloss* untuk Kondisi NLOS terhadap Variasi Jarak antara Tx dan Rx

Dengan cara yang sama untuk kondisi lintasan NLOS juga dilakukan *fitting* hasil pengukuran. Pada tabel 3.11 diketahui jarak dan nilai *pathloss* untuk titik tubuh tertentu sehingga diperoleh hasil fitting dengan menggunakan persamaan 2.3.

Tabel 3.12 Hasil Pengukuran Pathloss dengan Variasi Jarak (NLOS)

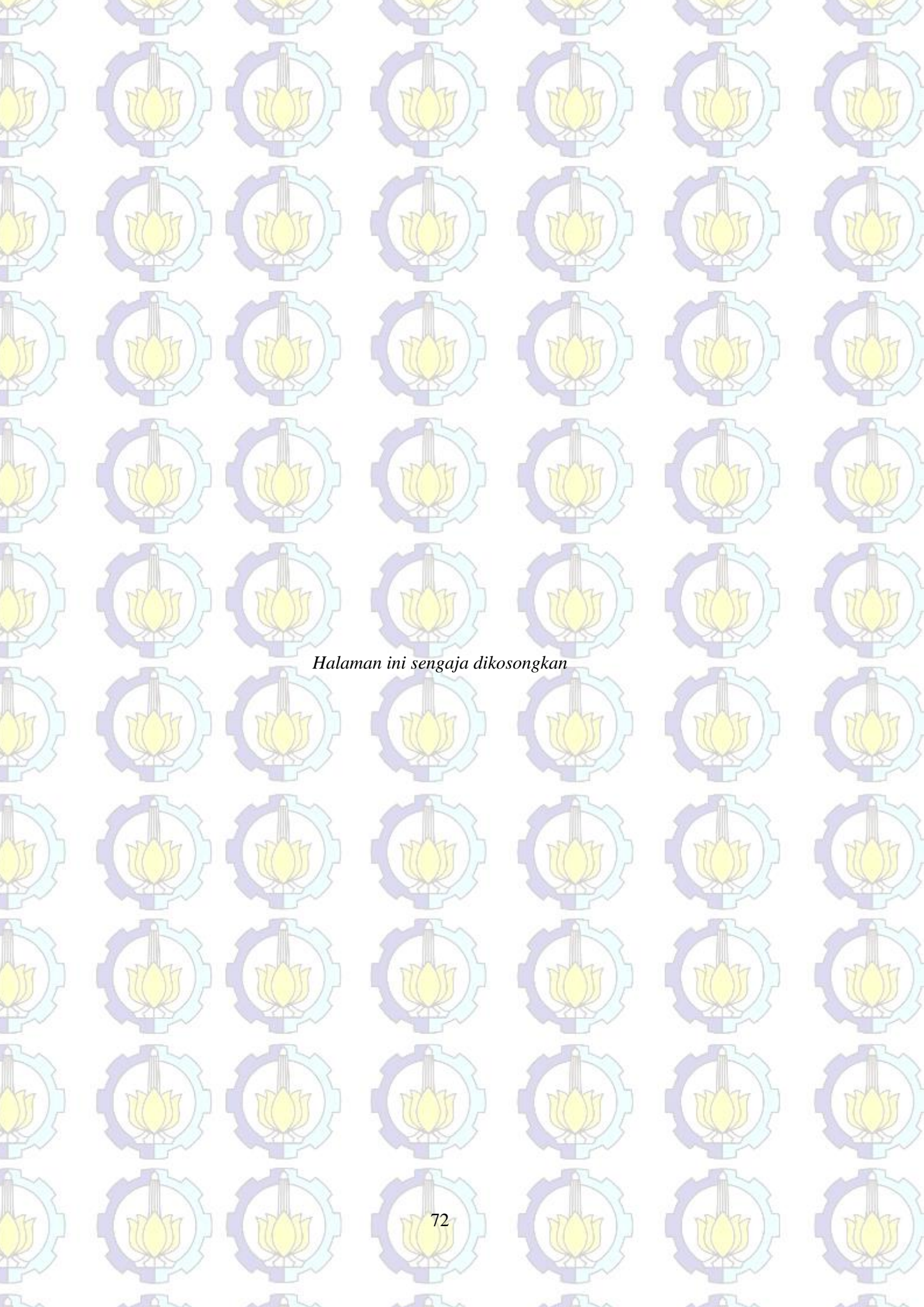
Titik Tubuh	Hasil Pengukuran	
	Jarak dari Rx log (d) mm	Pathloss (dB)
Dahi	2.86	86.75
Dada	2.43	106.79
Lengan	2.57	75.36
Tangan	2.64	76.28
Lutut	2.86	99.41
Kaki	3	74.30

Dari fitting perhitungan diperoleh nilai parameter a , b dan standart deviasi (σ_N) sebagai berikut:

Tabel 3.13 Hasil *Fitting* Pengukuran (NLOS)

Parameter	a	b	σ_N
Nilai	-16.73	132.78	12.05

Dari contoh pengolahan data *pathloss* diatas, maka diperoleh hasil *fitting* yang berbeda antara kondisi LOS dan NLOS. Untuk kondisi NLOS diperoleh standart deviasi yang lebih tinggi dibandingkan pada kondisi LOS. Hal ini dikarenakan pada kondisi NLOS terdapat efek *multipath* lingkungan seperti pantulan dan difraksi pada ruang pengukuran.



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pendahuluan

Pada bagian ini dibahas mengenai hasil pengukuran, hasil pengolahan data pengukuran serta analisa model kanal tubuh yang terdiri dari model *pathloss* dan model *power delay profile* (PDP). Hasil pengolahan data PDP yang meliputi *maximum excess delay*, *mean excess delay* dan *root mean square* (RMS) *delay spread* turut diulas pada bab ini. Bagian berikutnya mengulas pemodelan *pathloss* jaringan area tubuh nirkabel *on body to body surface* dan *on body to external node* dengan berbagai skenario yang telah dibahas pada bab terdahulu. Selain itu pada bab ini akan dibahas pula pemodelan PDP untuk jaringan area tubuh nirkabel.

4.2 Hasil Pengukuran

Dari pengukuran yang telah dilakukan bertujuan untuk memodelkan kanal jaringan area tubuh nirkabel pada lingkungan *indoor*. Adapun pemodelan kanal yang diamati ada dua bagian yaitu *Channel Model 3* (CM3) dan *Channel Model 4* (CM4). Model kanal 3 merupakan model kanal untuk komunikasi *on body to on body surface*, sedangkan model kanal 4 merupakan model kanal untuk *on body to external node*.

Pengukuran menghasilkan parameter S_{21} yang meliputi magnitudo dan fase, kedua parameter ini yang kemudian diolah sehingga menghasilkan model *pathloss* dan model PDP kanal jaringan area tubuh. Hasil pengukuran dan pemodelan kanal akan dibahas pada sub bab berikutnya.

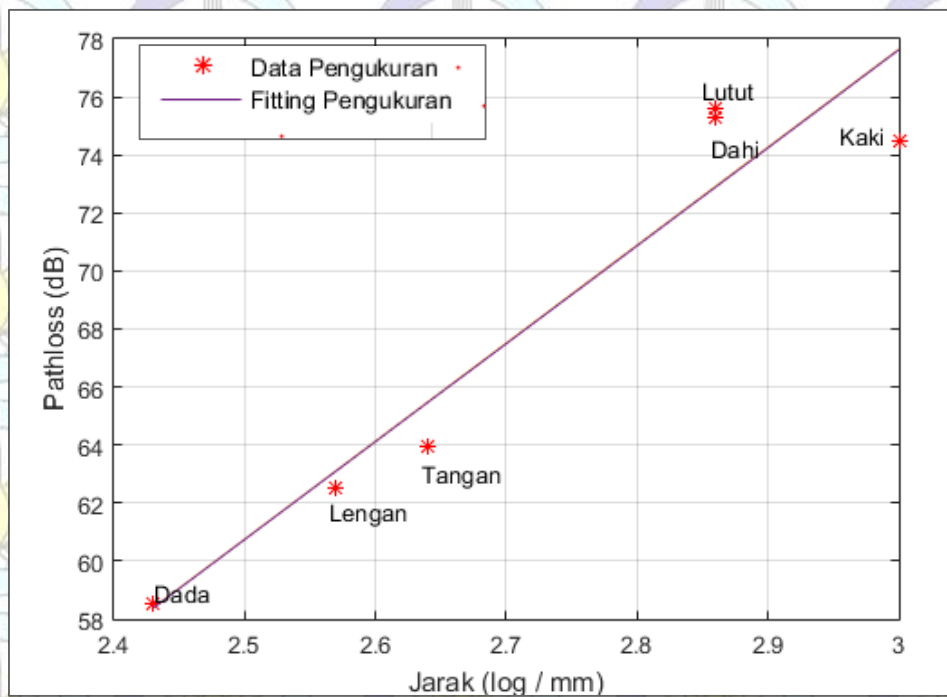
4.2.1 Hasil Pengukuran Pathloss CM 3 (*On Body to On Body Surface*)

Pada pengukuran *pathloss* CM 3 ini dibagi menjadi 3 skenario yakni objek pengamatan dalam kondisi tidak beraktivitas, objek pengukuran melakukan aktivitas berjalan cepat sambil naik turun tangga dan skenario ketiga adalah objek beraktivitas berlari dengan lintasan lurus dan tidak berkelok. Masing-masing

skenario akan diamati pada kondisi *Line Of Sight* (LOS) dan *Non Line Of Sight* (NLOS).

4.2.1.1 Skenario Objek Tidak Beraktivitas

Pada skenario objek pengukuran tidak beraktivitas, didapatkan nilai *pathloss* sesuai grafik berikut :

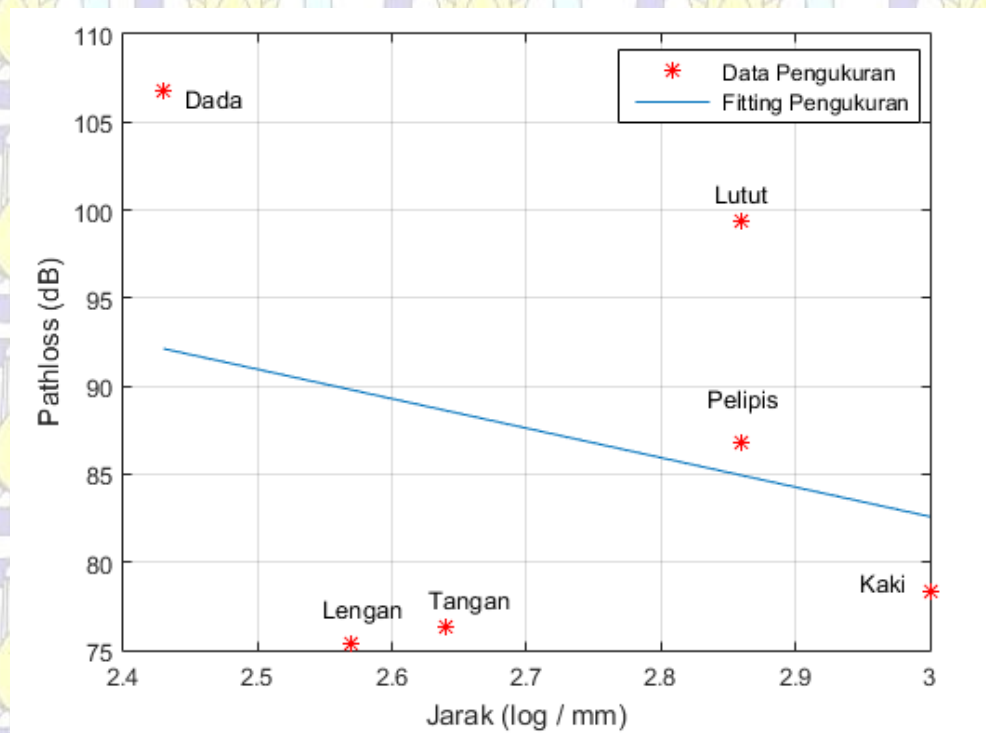


Gambar 4.1 *Pathloss* pada Skenario Tidak Beraktivitas Kondisi LOS dengan Berbagai Variasi Jarak antara *Transmitter* ke *Receiver*

Dari grafik pada gambar 4.1 diketahui bahwa nilai *pathloss* pada kondisi lintasan LOS hasil pengukuran untuk masing-masing posisi tubuh yang ditandai dengan titik-titik berwarna merah cenderung mendekati grafik *pathloss* terdistribusi linear log normal hasil *fitting* pengukuran. Hasil yang diperoleh memiliki kesesuaian dengan *trend pathloss* orang yang tidak beraktivitas. Pada kondisi tidak beraktivitas, *pathloss* terbesar ditunjukkan oleh bagian dahi yaitu 75.63 dB, sedangkan *pathloss* terkecil adalah pada bagian dada yaitu 58.54 dB.

Sedangkan untuk kondisi lintasan NLOS objek tidak beraktivitas, nilai *pathloss* terbesar adalah pada bagian dada yaitu 106.79 dB dan nilai *pathloss* terkecil adalah bagian kaki yaitu sebesar 74.30 dB. Hal yang menyebabkan besarnya *pathloss* untuk kondisi lintasan NLOS adalah pengaruh *fading* lingkungan *indoor*, disamping adanya pengaruh propagasi tubuh manusia sendiri.

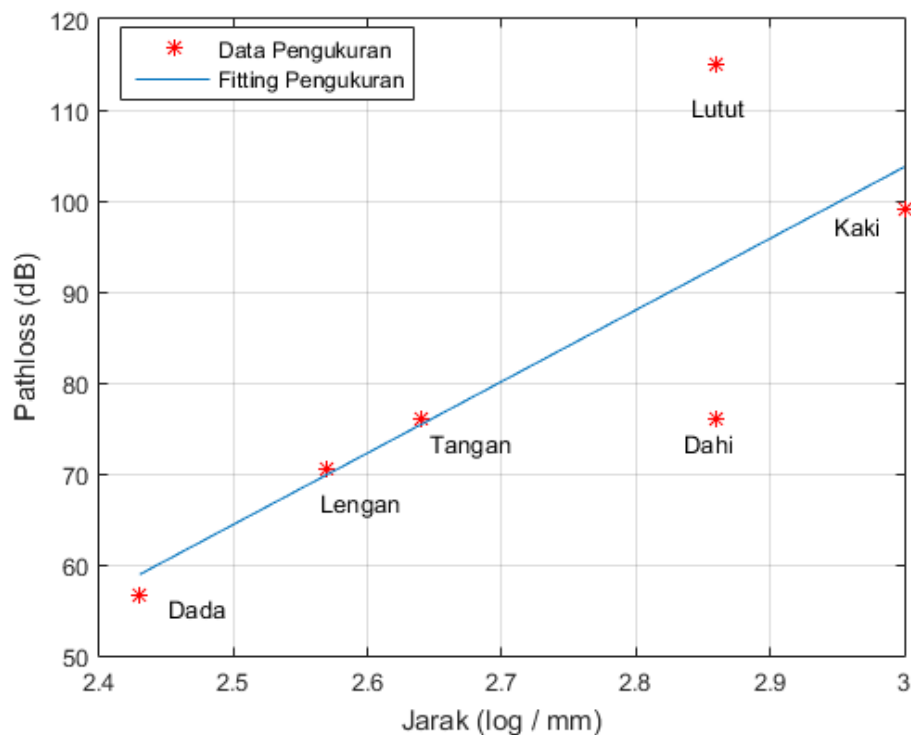
Jika ditinjau dari sisi jarak titik pengamatan dada dan dahi dimana antenna Tx diletakkan terhadap antenna Rx yang terletak di perut, maka jarak dada lebih dekat ke perut daripada dahi sehingga dapat diterima jika pathloss pada bagian dahi lebih besar daripada dada. Namun lain halnya pada kondisi lintasan NLOS dari hasil pengukuran justru sebaliknya, nilai *pathloss* yang diperoleh bagian dada adalah yang terbesar. Sementara itu bagian kaki yang letaknya paling jauh dari perut memiliki hasil *pathloss* yang paling kecil. Dari sini didapatkan informasi bahwa nilai pathloss untuk lintasan NLOS mengalami fluktuasi yang besarnya tidak menentu. Grafik *pathloss* untuk kondisi lintasan NLOS pada objek tidak beraktivitas dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 *Pathloss* pada Skenario Tidak Beraktivitas Kondisi NLOS dengan Berbagai Variasi Jarak antara *Transmitter* ke *Receiver*

4.2.1.2 Skenario Objek Beraktivitas Berjalan Naik Turun Tangga

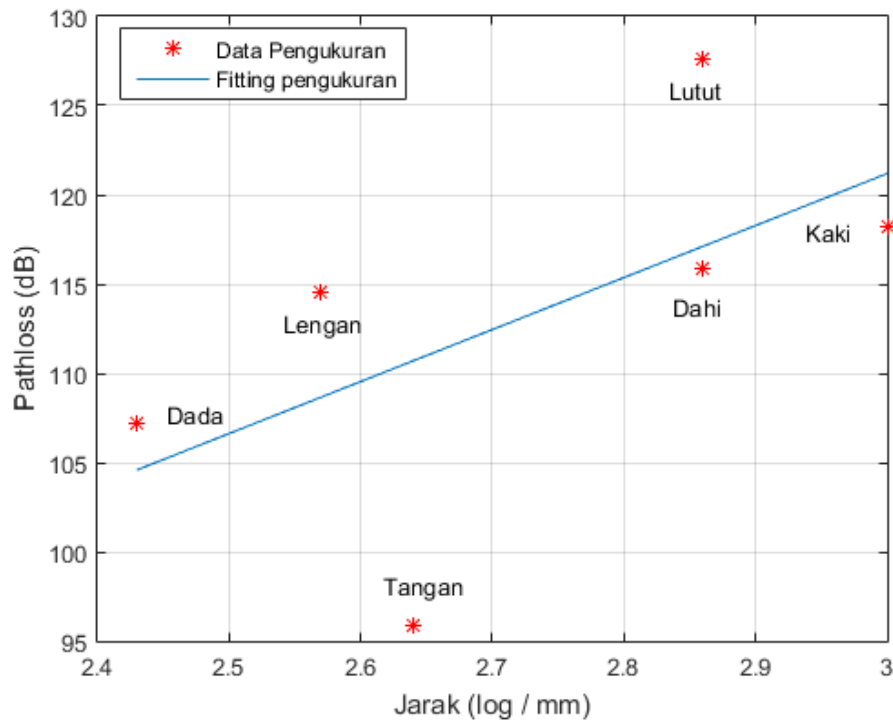
Pada skenario kedua, objek pengukuran beraktivitas berjalan naik turun tangga terlebih dahulu selama lebih kurang 20 menit sebelum diambil data pengukuran. Adapun hasil pengukuran didapatkan nilai pathloss sesuai grafik berikut :



Gambar 4.3 *Pathloss* pada Skenario Berjalan untuk Kondisi LOS dengan Berbagai Variasi Jarak antara *Transmitter* ke *Receiver*

Dari grafik pada gambar 4.3 diketahui bahwa nilai *pathloss* hasil pengukuran pada masing-masing posisi tubuh yang ditandai dengan titik-titik berwarna merah cenderung mendekati grafik *pathloss* terdistribusi log normal hasil *fitting* pengukuran. Namun terdapat perubahan *pathloss* yang besar pada bagian tubuh lutut, disusul oleh bagian kaki. Hal ini dapat diterima sebab pada kondisi objek pengamatan melakukan aktivitas berjalan naik dan turun tangga bagian tubuh yang paling banyak melakukan aktivitas adalah lutut dan kaki sehingga logis jika bagian tersebut yang memiliki nilai *pathloss* besar. Dari hasil pengukuran diketahui *pathloss* pada lutut sebesar 115.09 dB, sedangkan *pathloss* pada kaki adalah 99.04 dB. *Pathloss* terkecil untuk skenario objek pengukuran beraktivitas berjalan sambil naik turun tangga adalah pada bagian dada yaitu sebesar 56.65 dB.

Pengamatan selanjutnya adalah pada kondisi NLOS, antenna penerima Rx diletakkan di punggung. Pengamatan dilakukan pada titik-titik yang sama dengan pengamatan sebelumnya. Hasil pengukuran dapat dilihat pada grafik 4.4.



Gambar 4.4 *Pathloss* pada Skenario Berjalan untuk Kondisi NLOS dengan Berbagai Variasi Jarak antara *Transmitter* ke *Receiver*

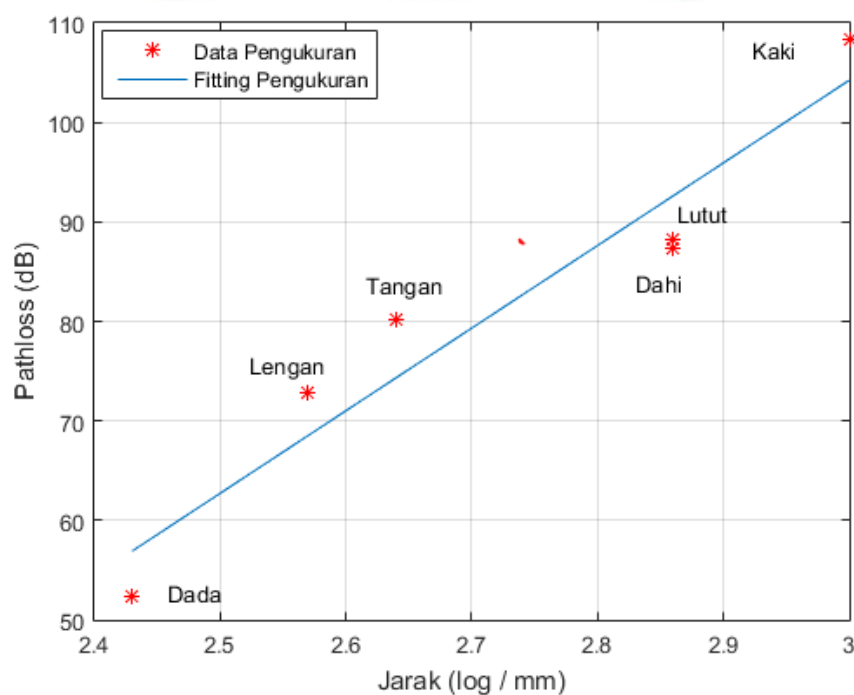
Dari grafik pada gambar 4.4 diketahui bahwa nilai *pathloss* hasil pengukuran pada masing-masing posisi tubuh yang ditandai dengan titik-titik berwarna merah mulai mengalami pergeseran yang besar terhadap grafik *pathloss* terdistribusi log normal yang digambarkan berwarna biru yang merupakan hasil *fitting* pengukuran. Perubahan terbesar dari *pathloss* tetap berada pada bagian lutut dan kaki, namun demikian bagian tubuh yang lain juga mengalami pergeseran yang relatif besar.

Dari hasil pengukuran diketahui *pathloss* pada lutut sebesar 127.59 dB, sedangkan *pathloss* pada kaki adalah 118.26. Untuk kondisi objek berjalan sambil naik turun tangga, nilai *pathloss* terkeci pada bagian tangan yaitu 95.89 dB. Pergeseran nilai *pathloss* yang lebih besar dari keadaan NLOS dapat diterima karena adanya efek *fading* lingkungan pengukuran, disamping efek propagasi internal tubuh objek yang diamati.

4.2.1.3 Skenario Objek Beraktivitas Berlari

Pengamatan selanjutnya adalah kecenderungan *pathloss* pada skenario objek melakukan aktivitas berlari ringan dengan lintasan yang lurus dan tidak

berkelok. Sebelum diambil data pengukuran, objek diharuskan melakukan aktivitas *jogging* selama lebih kurang 20 menit. Untuk menambah keakuratan hasil pengukuran, maka objek melakukan aktivitas *jogging* sebanyak 2 kali, pertama sebelum diambil data untuk kondisi LOS, selanjutnya objek melakukan aktivitas *jogging* kembali sebelum diambil data pengukuran untuk kondisi NLOS. Hal ini dilakukan dengan tujuan agar efek propagasi tubuh objek dapat diamati pada 2 keadaan tersebut. Adapun hasil pengamatan terlihat padaa grafik gambar 4.5 berikut.

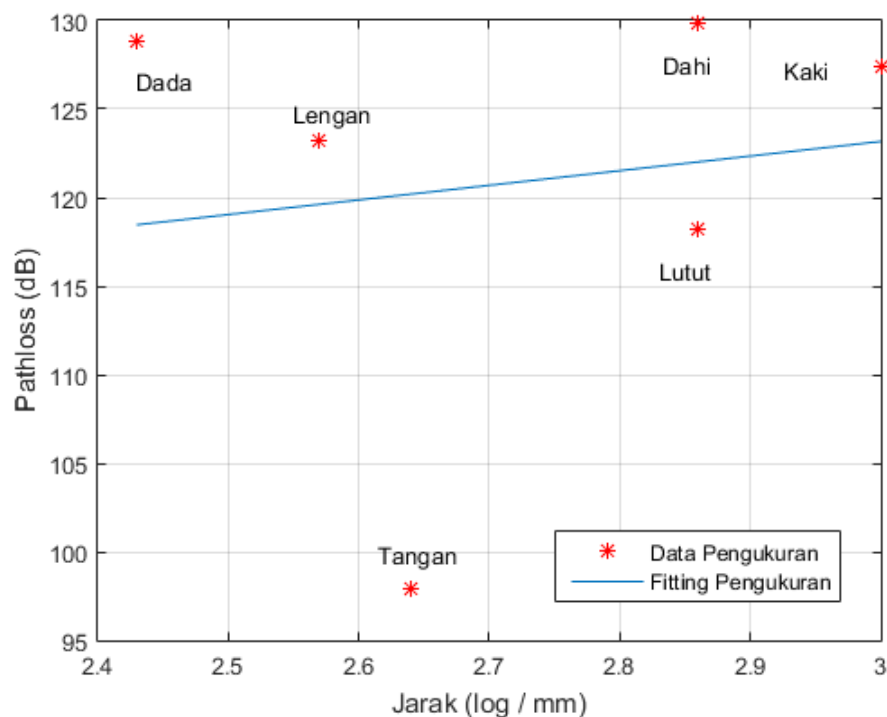


Gambar 4.5 *Pathloss* pada Skenario Berlari untuk Kondisi LOS dengan Berbagai Variasi Jarak antara *Transmitter* ke *Receiver*

Dari grafik pada gambar 4.5 diperoleh nilai *pathloss* hasil pengukuran pada masing-masing posisi tubuh yang ditandai dengan titik-titik berwarna merah mulai mengalami pergeseran yang besar terhadap grafik *pathloss* terdistribusi log normal yang digambarkan berwarna biru yang merupakan hasil *fitting* pengukuran. Perubahan terbesar dari *pathloss* pada objek melakukan aktivitas *jogging* adalah pada bagian pergelangan kaki, disusul pada bagian lutut dan dahi yang mengalami perubahan *pathloss* hampir sama. Sementara itu bagian lengan dan pergelangan tangan paling kecil perubahan *pathloss*-nya.

Dari hasil pengukuran diketahui *pathloss* pada untuk kondisi lintasan LOS yang terbesar adalah pada bagian kaki yaitu 108.35 dB, sedangkan *pathloss* pada lutut dan dahi berturut-turut adalah 88.26 dB dan 87.29 dB. Sementara *pathloss* terkecil adalah pada bagian dada yaitu sebesar 52.37 dB. Pergeseran nilai *pathloss* yang terbesar pada keadaan LOS di bagian kaki ini dapat diterima karena pada skenario objek melakukan *jogging*, titik tubuh yang melakukan aktivitas terberat adalah pergelangan kaki. Selain itu lutut dan dahi juga memberikan kontribusi *pathloss* yang cukup besar karena kondisi suhu tubuh orang yang melakukan aktivitas *jogging* mengalami peningkatan, hal inilah yang meningkatkan *pathloss* di bagian dahi. Selain itu bagian lutut juga bekerja lebih berat dibandingkan lengan dan pergelangan tangan sehingga perubahan nilai *pathloss* pada lutut juga cukup besar.

Selanjutnya akan diamati hasil pengukuran *pathloss* dengan skenario yang sama, namun pada kondisi penerima Rx diletakkan di punggung untuk mewakili kondisi NLOS. Hasil pengukuran dapat dilihat pada grafik gambar 4.6.



Gambar 4.6 *Pathloss* pada Skenario Berlari untuk Kondisi NLOS dengan Berbagai Variasi Jarak antara *Transmitter* ke *Receiver*

Dari grafik pada gambar 4.6 diketahui bahwa nilai *pathloss* hasil pengukuran pada masing-masing posisi tubuh yang ditandai dengan titik-titik berwarna merah mulai mengalami pergeseran yang besar terhadap grafik *pathloss* terdistribusi log normal yang digambarkan berwarna biru yang merupakan hasil *fitting* pengukuran. Perubahan terbesar dari *pathloss* tetap berada pada bagian kaki, namun demikian bagian tubuh yang lain juga mengalami pergeseran yang relatif besar.

Dari hasil pengukuran diketahui *pathloss* terbesar adalah pada bagian dahi yaitu 129.87 dB, sedangkan *pathloss* terkecil pada tangan yaitu 97.95 dB. Jika dibandingkan dengan *trend pathloss* terdistribusi log normal, pergeseran nilai *pathloss* yang lebih besar dari keadaan NLOS dapat diterima karena adanya efek *fading* lingkungan pengukuran, disamping efek propagasi internal tubuh objek yang diamati.

Secara umum untuk pengamatan *pathloss on body to on body surface* dapat dikatakan bahwa nilai *pathloss* berfluktuasi karena adanya perbedaan aktivitas yang dialami tubuh. Semakin berat aktivitas maka nilai *pathloss* di titik tersebut juga akan semakin besar, dan sebaliknya semakin ringan aktivitas maka *pathloss* di bagian tubuh tersebut akan memberikan kontribusi yang kecil. Sedangkan jarak tidak mempengaruhi perubahan nilai *pathloss* untuk kanal tubuh.

4.2.2 Hasil Pengukuran Pathloss CM 4 (On Body to External Node)

Pada pengukuran *pathloss* CM 4 ini, skenario yang diamati efek perubahan ketinggian antenna pemancar terhadap antenna penerima Rx. Kondisi objek dalam keadaan berdiri dan tidak sedang beraktivitas. Posisi antenna penerima terletak di bagian dada objek sedangkan pemancar terletak di dinding ruangan dengan variasi ketinggian dari 0.5 m hingga 2 meter dengan penambahan 0.5 meter. Masing-masing kondisi *Line Of Sight* (LOS) dan *Non Line Of Sight* (NLOS) akan diamati pada pengukuran kali ini.

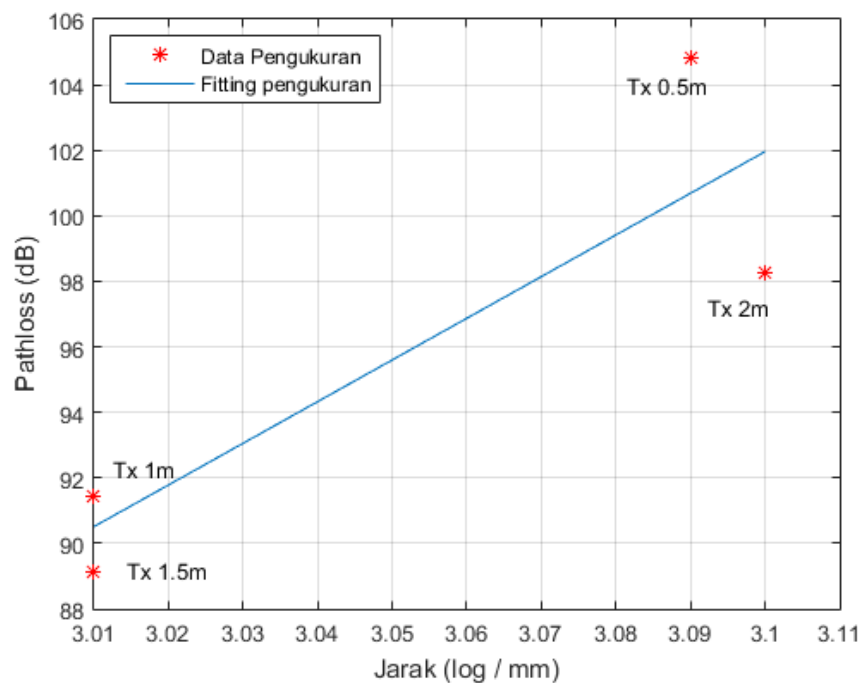
4.2.2.1 Hasil Pengukuran Pathloss CM 4 Berdasarkan Variasi Ketinggian

Antena Tx

Pada skenario objek pengukuran ini, dilakukan pula pengukuran pembanding sebagai bahan analisa. Pengukuran pembanding adalah pengukuran yang dilakukan tanpa menggunakan media tubuh manusia, yakni menggunakan

tiang kayu. Hal ini dilakukan dengan tujuan membandingkan nilai *pathloss* yang didapat untuk hubungan komunikasi *on body to external node*. Posisi Rx adalah pada ketinggian 125 cm yang terletak pada tubuh objek pengukuran bagian dada, sedangkan pada pengukuran pembanding terletak pada ketinggian 125 cm dari pangkal tiang. Sedangkan jarak antara Tx dan dinding tempat antenna Rx diletakkan adalah 150 cm. Ketinggian antenna pemancar Tx di *setting* mulai dari 0.5 m hingga 2 m dari lantai.

Adapun hasil pengamatan untuk kondisi LOS dapat dilihat pada gambar grafik berikut ini :



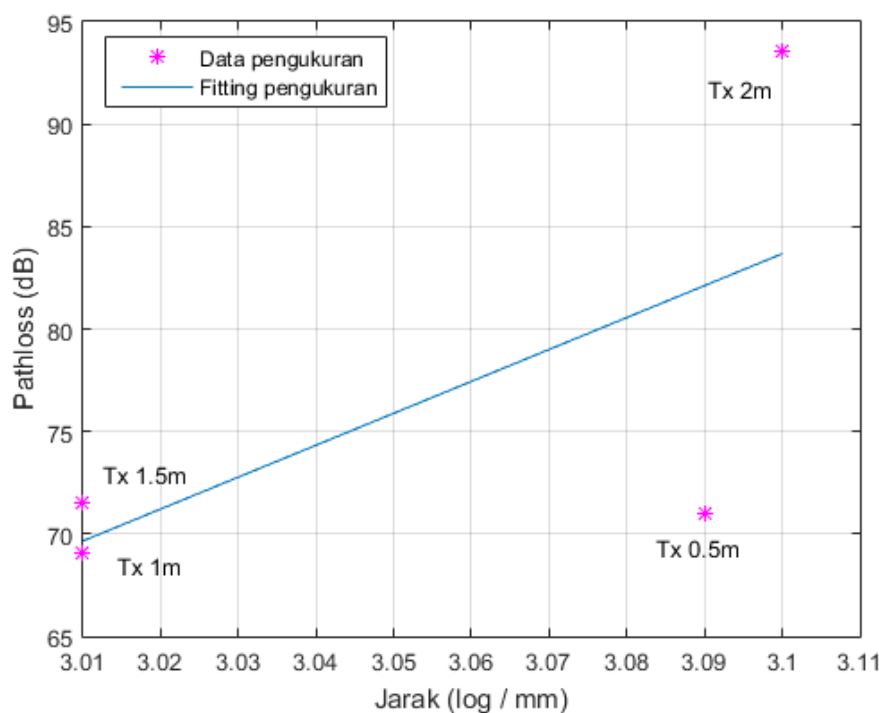
Gambar 4.7 *Pathloss* Tubuh dengan Variasi Ketinggian Pemancar (LOS) dengan Berbagai Variasi Jarak antara *Transmitter* ke *Receiver*

Dari grafik pada gambar 4.7 diperoleh nilai *pathloss* hasil pengukuran pada masing-masing posisi tubuh yang ditandai dengan titik-titik berwarna merah untuk kondisi dimana antenna Rx diletakkan pada tubuh objek dan titik-titik berwarna magenta untuk kondisi Rx diletakkan pada tiang kayu. Sedangkan jarak di set sama antara tubuh dan tiang kayu.

Dari hasil pengukuran diketahui bahwa *pathloss* pada pengukuran dengan lintasan LOS dan kondisi penerima adalah tubuh manusia memiliki persebaran nilai

terbesar pada posisi ketinggian antenna pemancar 2 meter (Tx4) dari lantai yaitu sebesar 105 dB, dan nilai *pathloss* terkecil pada posisi pemancar 1.5 meter (Tx3) dari lantai yaitu sebesar 89.12 dB. Hal ini bisa dipahami karena jarak antara Tx dan Rx terpendek adalah pada posisi ketinggian pemancar 1.5 meter, mengingat penerima diletakkan fix pada dada objek yang berjarak 1.25 meter dari lantai.

Selanjutnya akan diamati hasil pengukuran *pathloss* pada pembanding yakni pengukuran dengan tiang kayu. Hal ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar efek perubahan *pathloss* pada tubuh manusia. Pada pengukuran dengan tiang kayu didapatkan nilai *pathloss* terbesar pada posisi pemancar pada ketinggian 2 meter (Tx-k4) yaitu sebesar 94.2 dB dan nilai *pathloss* terkecil didapat pada ketinggian antenna pemancar 1.5 meter (Tx-k3) yaitu sebesar 64.44 dB. Nilai-nilai tersebut adalah *pathloss* yang didapat pada pengukuran dengan kondisi lintasan LOS.

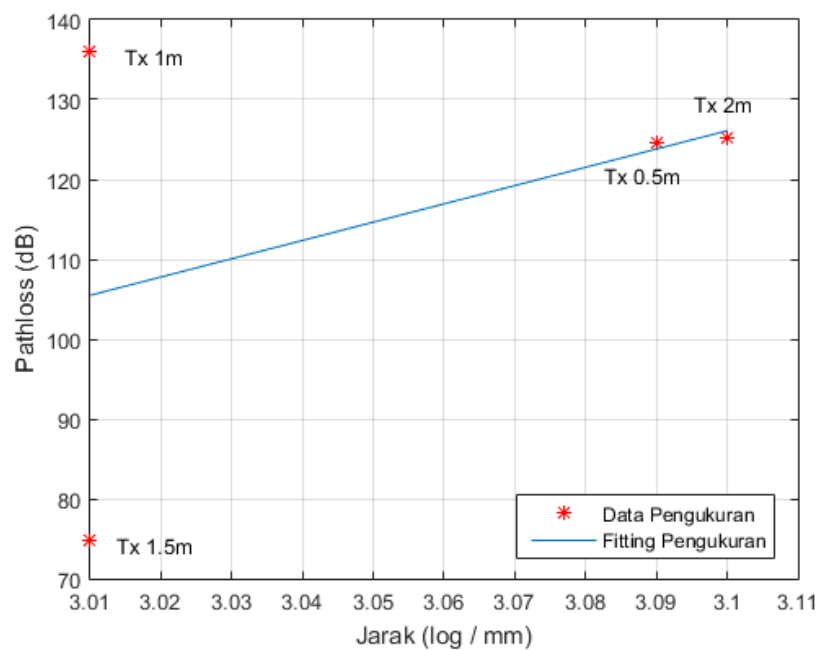


Gambar 4.8 *Pathloss* Media Kayu dengan Variasi Ketinggian Pemancar (LOS) dengan Berbagai Variasi Jarak antara *Transmitter* ke *Receiver*

Dari pengamatan dapat diperoleh informasi bahwa *pathloss* tubuh dengan skenario *on body to external node* memiliki kecenderungan lebih besar dibandingkan dengan *pathloss* pembanding (tiang kayu). Hal ini jelas dipengaruhi

oleh kondisi propagasi tubuh manusia sendiri yang sifatnya kompleks. Pada pengamatan CM 4 ini juga terdapat efek propagasi lingkungan yang menyebabkan perbedaan dengan karakteristik *pathloss* pada CM 3.

Selanjutnya diamati pula *pathloss* pada kondisi NLOS untuk CM 4 komunikasi *on body surface to external node*. Hasil pengukuran dapat dilihat pada gambar grafik 4.9

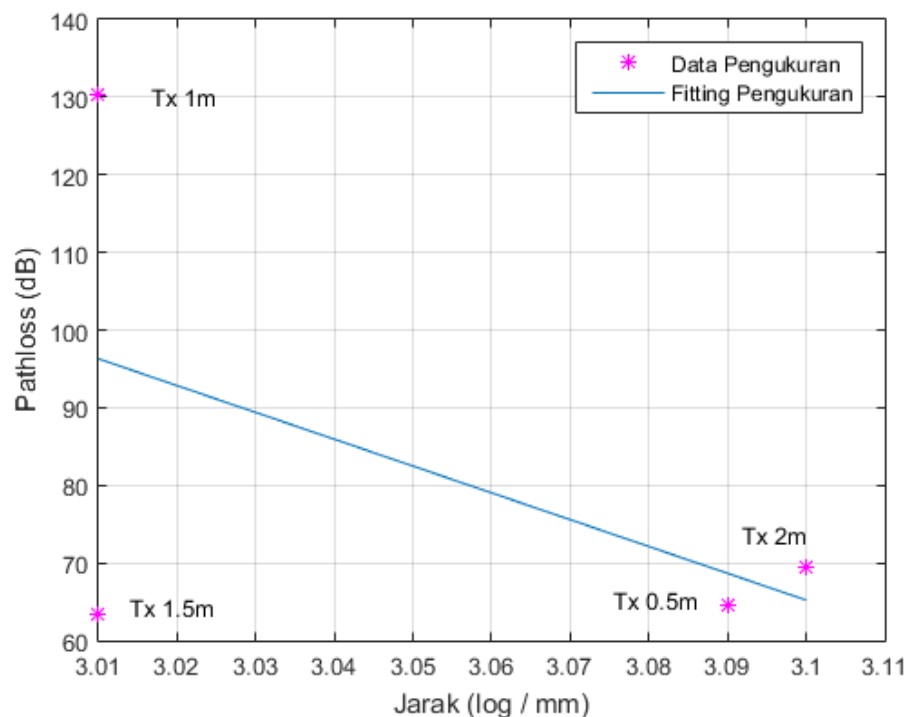


Gambar 4.9 *Pathloss* Tubuh dengan Variasi Ketinggian Pemancar (NLOS) dengan Berbagai Variasi Jarak antara *Transmitter* ke *Receiver*

Dari grafik pada gambar 4.9 diperoleh nilai *pathloss* hasil pengukuran pada masing-masing posisi tubuh yang ditandai dengan titik-titik berwarna merah untuk kondisi dimana antena Rx diletakkan pada tubuh objek (punggung) dan titik-titik berwarna magenta untuk kondisi Rx diletakkan pada tiang kayu. Sedangkan jarak di set sama antara tubuh dan tiang kayu.

Dari hasil pengukuran diketahui bahwa *pathloss* pada kondisi NLOS penerima adalah tubuh manusia memiliki persebaran nilai *pathloss* terbesar pada posisi ketinggian antena pemancar 1 meter (Tx2) dari lantai yaitu sebesar 136.11 dB, dan nilai *pathloss* terkecil pada posisi pemancar 1.5 meter (Tx3) dari lantai yaitu sebesar 74.76 dB. Hal ini bisa dipahami karena jarak antara Tx dan Rx terpendek

adalah pada posisi ketinggian pemancar 1.5 meter, mengingat penerima diletakkan fix pada dada objek yang berjarak 1.25 meter dari lantai.



Gambar 4.10 Pathloss Media Kayu dengan Variasi Ketinggian Pemancar (NLOS) dengan Berbagai Variasi Jarak antara *Transmitter* ke *Receiver*

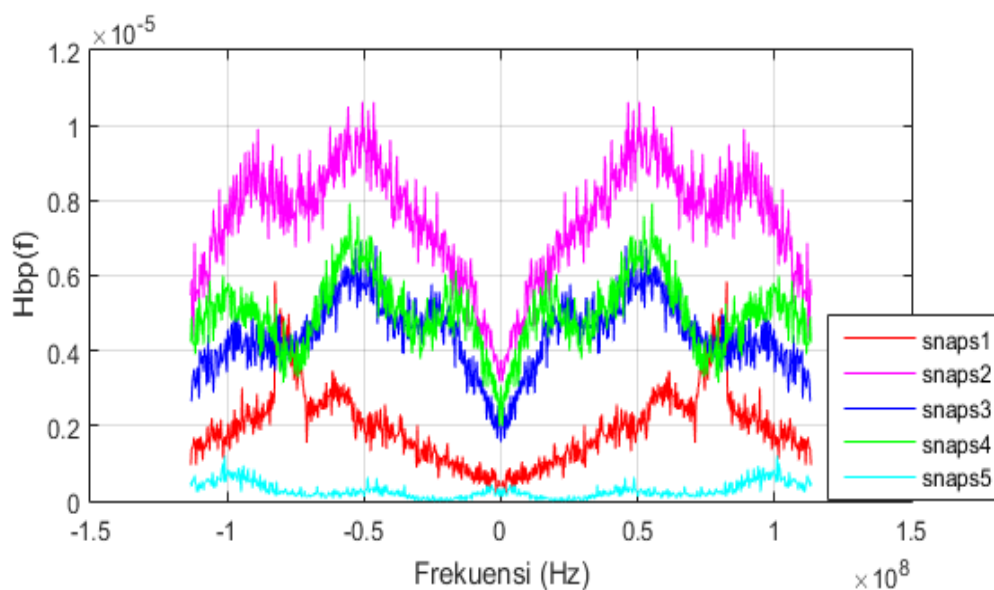
Selanjutnya akan diamati hasil pengukuran *pathloss* pada pembanding yakni pengukuran dengan tiang kayu. Pada pengukuran dengan tiang kayu didapatkan nilai *pathloss* terbesar pada posisi pemancar pada ketinggian 1 meter (Tx2) yaitu sebesar 130.34 dB dan nilai *pathloss* terkecil didapat pada ketinggian antenna pemancar 1.5 meter (Tx3) yaitu sebesar 63.44 dB.

Dari pengamatan dapat diperoleh informasi bahwa *pathloss* tubuh dengan skenario *on body to external node* memiliki kecenderungan lebih besar dibandingkan dengan *pathloss* pembanding (tiang kayu) untuk kondisi lintasan NLOS. Hal ini jelas dipengaruhi oleh kondisi propagasi tubuh manusia sendiri yang sifatnya kompleks. Pada pengamatan CM 4 ini juga terdapat efek propagasi lingkungan yang berupa refleksi, difraksi dan absorpsi yang menyebabkan perbedaan dengan karakteristik *pathloss* pada CM 3.

4.2.3 Hasil Pengukuran PDP CM3 (*On Body to Body Surface*)

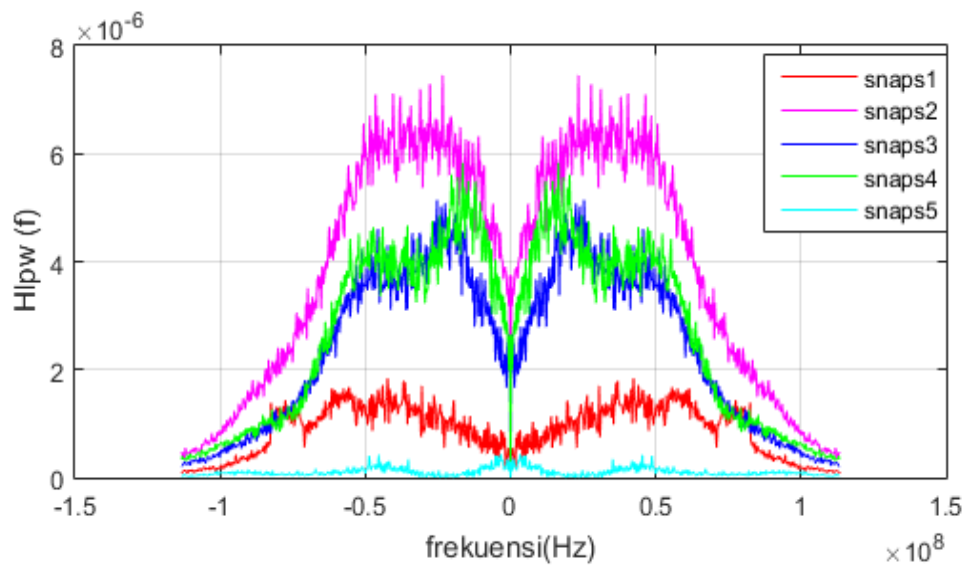
Pada pengukuran PDP CM3 ini akan didapatkan nilai *Power Delay Profile* (PDP) dari masing-masing titik sampel pengamatan yakni dahi, dada, lengan, pergelangan tangan, lutut, dan pergelangan kaki. Pada bagian ini akan diulas salah satu skenario saja, sedangkan untuk hasil keseluruhan dapat dilihat pada bagian sub bab selanjutnya dari penelitian ini. Dari nilai PDP selanjutnya dapat dihitung parameter *delay* statistik yang digunakan untuk perencanaan implementasi lebih lanjut dari penelitian ini.

Pencarian nilai PDP diawali dari representasi respon kanal pada domain frekuensi yang diperoleh dari hasil pengukuran, proses perkalian dengan window hamming dan selanjutnya proses IFFT untuk mendapatkan respon impuls dalam domain waktu. PDP sendiri diperoleh dari rata-rata dari kuadrat nilai absolut respon impuls kanal dalam domain waktu $h(\tau)$.



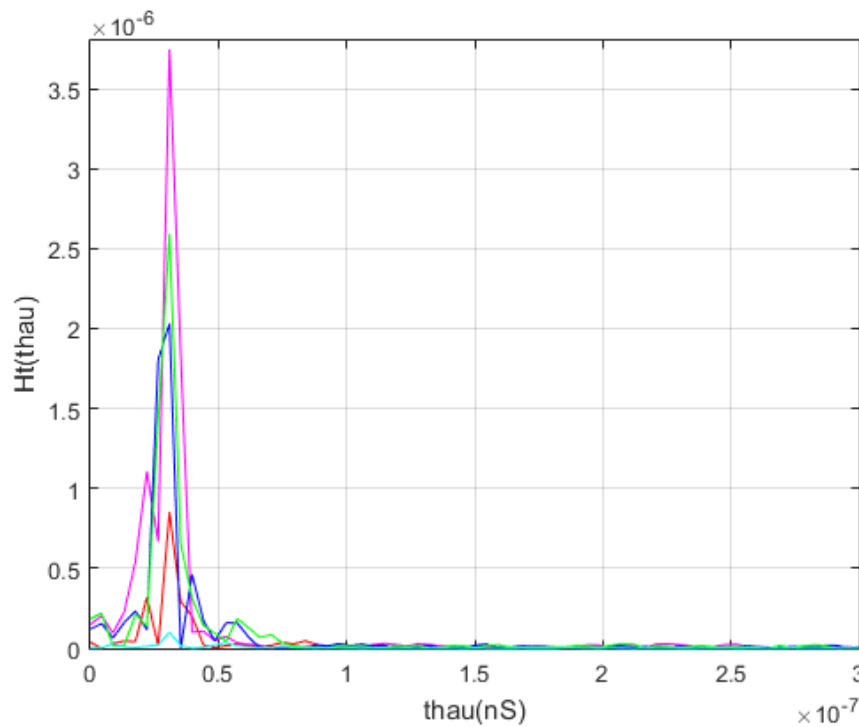
Gambar 4.11 Respon Magnitudo $H_{bp}(f)$ Hasil Pengukuran

Gambar 4.11 merupakan tampilan awal data hasil pengukuran pada 1 titik pengamatan dengan 5 kali *snapshot*. Pengukuran yang dilakukan pada bagian kaki dengan skenario orang tidak beraktivitas. Selanjutnya respon kanal dalam domain frekuensi tersebut dikalikan dengan window hamming sebelum dilakukan proses transfer fungsi ke domain waktu. Gambar 4.12 merupakan representasi respon kanal setelah dikalikan dengan window *hamming*.



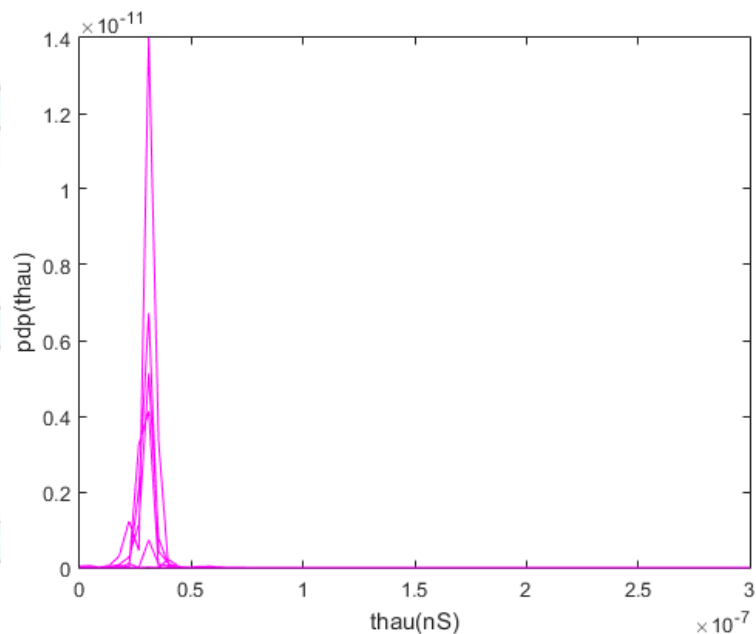
Gambar 4.12 Respon Kanal $H_{lpw}(f)$ setelah dikalikan dengan Window *Hamming*

Tahap berikutnya menghasilkan berupa IFFT dari respon kanal domain frekuensi yang telah dikali dengan window hamming sehingga didapatkan respon impuls kanal pada domain waktu seperti pada gambar berikut :



Gambar 4.13 Respon Impuls Kanal $H_t(\tau)$

Hasil respon impuls kanal selanjutnya diolah menjadi *power delay profile* (PDP) dengan cara mencari rata-rata dari kuadrat nilai absolut masing-masing $h(\tau)$. Tampilan PDP pada pengukuran kanal tubuh bagian kaki dengan skenario tidak beraktivitas adalah sebagai berikut :



Gambar 4.14 Grafik *Power Delay Profile* $pdp(\tau)$

4.3 Pemodelan *Pathloss*

Dari hasil pengukuran nilai pathloss pada beberapa skenario yang disebutkan sebelumnya maka dapat dirangkum seperti dibawah ini :

Tabel 4.1 Tabel *Pathloss* untuk Skenario Objek Tidak beraktivitas CM3

Titik Pengamatan pada Tubuh	Hasil Pengukuran CM 3 Objek Tidak Beraktivitas		
	Jarak dari Rx	Pathloss (dB)	
	log (d) mm	LOS	NLOS
Dahi	2.86	75.63	86.75
Dada	2.43	58.54	106.79
Lengan	2.57	62.49	75.36
Tangan	2.64	63.97	76.28
Lutut	2.86	75.31	99.41
Kaki	3	74.47	74.30

Dari hasil pengukuran diperoleh hasil *fitting* pengukuran yang sesuai untuk skenario objek tidak beraktivitas pada link komunikasi *On Body to Body Surface* (CM3) dengan kondisi lintasan LOS adalah sebagai berikut :

Tabel 4.2 Hasil *Fitting* Pengukuran Skenario Objek Tidak Beraktivitas CM3 (LOS)

Parameter	a	b	σ_N
Nilai	33.78	-23.71	6.94

Sedangkan *fitting* pengukuran yang sesuai untuk skenario objek tidak beraktivitas pada link komunikasi *On Body to Body Surface* (CM3) dengan kondisi lintasan NLOS adalah sebagai berikut :

Tabel 4.3 Hasil *Fitting* Pengukuran Skenario Objek Tidak Beraktivitas CM3 (NLOS)

Parameter	a	b	σ_N
Nilai	-16.73	132.78	12.05

Dari kedua hasil *fitting* pengukuran untuk skenario objek tidak beraktivitas pada lintasan LOS dan NLOS didapatkan hasil standart deviasi yang lebih besar pada kondisi lintasan NLOS dengan selisih 5.11.

Hasil pengukuran nilai pathloss pada skenario objek melakukan aktivitas berjalan naik turun tangga adalah sebagai berikut :

Tabel 4.4 Tabel *Pathloss* untuk Skenario Objek Beraktivitas Berjalan Naik Turun Tangga CM3

Titik Pengamatan pada Tubuh	Hasil Pengukuran CM 3 Objek Beraktivitas Berjalan Naik Turun tangga		
	Jarak dari Rx	Pathloss (dB)	
	log (d) mm	LOS	NLOS
Dahi	2.86	76.07	115.87
Dada	2.43	56.65	107.24
Lengan	2.57	70.56	114.58
Tangan	2.64	76.07	95.89
Lutut	2.86	115.09	127.59
Kaki	3	99.04	118.26

Dari hasil pengukuran diperoleh hasil *fitting* pengukuran yang sesuai untuk skenario objek beraktivitas berjalan naik turun tangga pada link komunikasi On *Body to Body Surface* (CM3) dengan kondisi lintasan LOS adalah sebagai berikut:

Tabel 4.5 Hasil *Fitting* Pengukuran Skenario Objek Beraktivitas Berjalan Naik Turun Tangga CM3 (LOS)

Parameter	a	b	σ_N
Nilai	78.61	-132.1	19.27

Sedangkan *fitting* pengukuran yang sesuai untuk skenario objek beraktivitas berjalan naik turun tangga pada link komunikasi On *Body to Body Surface* (CM3) dengan kondisi lintasan NLOS adalah sebagai berikut :

Tabel 4.6 Hasil *Fitting* Pengukuran Skenario Objek Beraktivitas Berjalan Naik Turun Tangga CM3 (NLOS)

Parameter	a	b	σ_N
Nilai	29.13	33.80	9.8

Hasil pengukuran nilai pathloss pada skenario objek melakukan aktivitas berlari kecil dengan lintasan lurus adalah sebagai berikut :

Tabel 4.7 Hasil *Pathloss* untuk Skenario Objek Beraktivitas Berlari Kecil dengan Lintasan Lurus CM3

Titik Pengamatan pada Tubuh	Hasil Pengukuran CM 3 Objek Beraktivitas Berlari Kecil dengan Lintasan Lurus		
	Jarak dari Rx	Pathloss (dB)	Pathloss (dB)
	log (d) mm	LOS	NLOS
Dahi	2.86	87.29	129.87
Dada	2.43	52.37	128.83
Lengan	2.57	72.88	123.18
Tangan	2.64	80.09	97.95
Lutut	2.86	88.26	118.20
Kaki	3	108.35	127.44

Dari hasil pengukuran diperoleh hasil *fitting* pengukuran yang sesuai untuk skenario objek beraktivitas berlari kecil dengan lintasan lurus pada link komunikasi

On Body to Body Surface (CM3) dengan kondisi lintasan LOS adalah sebagai berikut.

Tabel 4.8 Hasil *Fitting* Pengukuran Skenario Objek Beraktivitas Berlari dengan Lintasan Lurus CM3 (LOS)

Parameter	a	b	σ_N
Nilai	83.03	-144.85	13.45

Sedangkan *fitting* pengukuran yang sesuai untuk skenario objek beraktivitas berlari dengan lintasan lurus pada link komunikasi On Body to Body Surface (CM3) dengan kondisi lintasan NLOS adalah sebagai berikut :

Tabel 4.9 Hasil *Fitting* Pengukuran Skenario Objek Beraktivitas Berlari dengan Lintasan Lurus CM3 (NLOS)

Parameter	a	b	σ_N
Nilai	8.26	98.39	10.99

Dari tabel 4.1, tabel 4.4 dan tabel 4.7 dapat dilihat bahwa untuk *Channel Model* (CM3), komunikasi antara *on body to on body surface*, nilai *pathloss* tidak dipengaruhi oleh jarak antara Tx dan Rx seperti halnya pada perhitungan *pathloss free space*. Faktor dominan yang berpengaruh pada nilai *pathloss* adalah kompleksitas tubuh manusia, hal ini dapat dilihat dari persebaran nilai *pathloss* pada kondisi objek tidak beraktivitas yang mana nilai terbesarnya adalah pada bagian dahi, sedangkan *pathloss* terkecil pada dada. Hal ini dikarenakan jarak antara dada dan perut paling dekat sehingga menghasilkan *pathloss* paling kecil.

Selanjutnya pada kondisi objek beraktivitas berjalan naik turun tangga dan berlari. Dari tabel 4.4 didapatkan nilai *pathloss* terbesar pada kondisi naik turun tangga adalah pada lutut, sedangkan pada kondisi objek berlari adalah bagian kaki yang memiliki *pathloss* terbesar. Hal ini bisa diterima karena bagian tubuh tersebut yang melakukan pekerjaan terberat pada skenario masing-masing.

Berikut adalah rangkuman hasil pengukuran *pathloss* pada *Channel Model* 4 (CM4), yaitu komunikasi *on body surface to external node*.

Tabel 4.10 Tabel *Pathloss* untuk Berbagai Ketinggian Pemancar pada CM4

Ketinggian Antena Pemancar	Skenario Pengamatan pada Tubuh Manusia untuk CM4		
	Jarak dari Rx log (d) mm	LOS (dB)	NLOS (dB)
50 cm	3.09	93.59	130.34
100 cm	3.01	89.12	124.69
150 cm	3.01	91.42	125.25
200 cm	3.10	98.25	136.11

Sedangkan *fitting* pengukuran yang sesuai untuk skenario perubahan ketinggian antena Tx pada link komunikasi *On Body Surface to External Node* (CM4) dengan kondisi lintasan LOS adalah sebagai berikut :

Tabel 4.11 Hasil *Fitting* Pengukuran Skenario Ketinggian Antena Tx Bervariasi CM4 (LOS)

Parameter	a	b	σ_N
Nilai	127.21	-292.39	6.15

Fitting pengukuran yang sesuai untuk skenario perubahan ketinggian antena Tx pada link komunikasi *On Body Surface to External Node* (CM4) dengan kondisi lintasan NLOS adalah sebagai berikut :

Tabel 4.12 Hasil *Fitting* Pengukuran Skenario Ketinggian Antena Tx Bervariasi CM4 (NLOS)

Parameter	a	b	σ_N
Nilai	228.99	-583.77	23.8

Berikut adalah rangkuman hasil pengukuran *pathloss* pada *Channel Model* 4 (CM4), yaitu komunikasi *on body surface to external node*. Pada tabel 4.13 disajikan data hasil pengukuran dengan menggunakan media pengamatan tiang kayu untuk peletakan antena penerima sebagai pengganti tubuh manusia. Adapun ketinggian antena Rx dibuat sama seperti ketika antena Rx diletakkan pada tubuh manusia yaitu pada jarak 125 cm dari lantai ruang pengukuran.

Tabel 4.13 Tabel *Pathloss* untuk Berbagai Ketinggian Pemancar pada CM4

Ketinggian Antena Pemancar	Skenario Pengamatan pada Media Tiang Kayu untuk CM4		
	Jarak dari Rx $\log(d)$ mm	LOS (dB)	NLOS (dB)
50 cm	3.09	69.03	74.36
100 cm	3.01	64.61	71.53
150 cm	3.01	63.44	70.97
200 cm	3.10	69.47	74.76

Sedangkan *fitting* pengukuran yang sesuai untuk skenario perubahan ketinggian antena Tx pada link komunikasi *On Body Surface to External Node* (CM4) dengan media tiang kayu untuk kondisi lintasan LOS adalah sebagai berikut:

Tabel 4.14 Hasil *Fitting* Pengukuran Skenario Ketinggian Antena Tx Bervariasi dengan Media Tiang Kayu CM4 (LOS)

Parameter	a	b	σ_N
Nilai	155.75	-399.15	10.04

Fitting pengukuran yang sesuai untuk skenario perubahan ketinggian antena Tx pada link komunikasi *On Body Surface to External Node* (CM4) dengan media tiang kayu untuk kondisi lintasan NLOS adalah sebagai berikut:

Tabel 4.15 Hasil *Fitting* Pengukuran Skenario Ketinggian Antena Tx Bervariasi dengan Media Tiang Kayu CM4 (NLOS)

Parameter	a	b	σ_N
Nilai	-345.42	1136	28.02

Dari tabel 4.10 dan 4.13 dapat dilihat bahwa untuk *Channel Model* (CM4), komunikasi antara *on body to external node*, nilai *pathloss* pada pengamatan dengan objek tubuh manusia masih dipengaruhi oleh jarak antara Tx dan Rx seperti

halnya pada perhitungan *free space* formula. Sedangkan pada pengamatan dengan menggunakan media tiang kayu sebagai pengukuran pembanding diperoleh data bahwa makin jauh jarak antara pemancar ke penerima maka makin besar nilai *pathloss*-nya. Sementara itu untuk tiap-tiap kondisi lintasan LOS diperoleh data bahwa pengamatan dengan menggunakan media tubuh manusia menghasilkan nilai *pathloss* yang lebih besar dibandingkan pengamatan dengan media tiang kayu. Selisih *pathloss*-nya sekitar 30 dB, sedangkan untuk kondisi lintasan NLOS diperoleh hasil yang sama, yakni kontribusi *pathloss* yang diberikan oleh tubuh manusia lebih besar dibandingkan pengamatan menggunakan tiang kayu. Selisih *pathloss* pada kondisi lintasan NLOS sekitar 50 dB hingga 60 dB.

4.4 Pemodelan *Power Delay Profile* (PDP)

Bagian kedua dari penelitian ini adalah pemodelan *power delay profile* (PDP). Model PDP ini diperlukan untuk mengetahui daya terima per satuan waktu atas kelebihan delay (*excess delay*) rata-rata dari respon impuls sejumlah sampel spasial. Dari PDP ini nantinya akan didapatkan nilai statistik *delay* yang meliputi *maximum excess delay*, *mean excess delay*, dan *root mean square (RMS) delay spread*.

Tabel 4.16 PDP dan Parameter Delay Statistik CM 3 Skenario Tidak Beraktivitas

Posisi Tx	Mean excess Delay ($\bar{\tau}$) dalam nS		RMS Delay (δ_{τ}) dalam nS	
	LOS	NLOS	LOS	NLOS
Dahi	621.84	1394	611.76	1384
Dada	484.03	969.59	480.43	959.57
Lengan	618.46	1018	617.63	1014
Tangan	575.57	1395	564.26	1374
Lutut	959.84	978.66	945.2	964.01
Kaki	745.70	1149	736.10	1125

Dari hasil perhitungan parameter statistik untuk Channel Model 3 (CM3) komunikasi *on body to body surface* skenario objek tidak beraktivitas diperoleh kecenderungan bahwa nilai *delay* bervariasi terhadap jarak. Padahal seharusnya nilai *delay* berbanding lurus dengan jarak untuk kondisi pengukuran kanal *indoor*. Sebaran nilai *delay* untuk kondisi lintasan LOS terkecil pada bagian dada yaitu

484.03 nS, sedangkan *delay* terbesar adalah pada bagian lutut dengan *delay* 959.84 nS. Selanjutnya untuk kondisi lintasan NLOS, nilai *delay* terbesar pada bagian tangan yaitu 1395 nS. Sementara *delay* terkecil pada bagian dada yaitu 969.59 nS.

Tabel 4.17 PDP dan Parameter *Delay* Skenario Berjalan Naik Turun Tangga

Posisi Tx	Mean excess Delay ($\bar{\tau}$) dalam nS		RMS Delay (δ_{τ}) dalam nS	
	LOS	NLOS	LOS	NLOS
Dahi	856.27	1201	855.76	1203
Dada	536.93	1011	545.43	1007
Lengan	596.4	1074	592.76	1057
Tangan	1235	890	1216	877.06
Lutut	1161	1245	1155	1240
Kaki	888	1095	883	1082

Selanjutnya untuk skenario objek beraktivitas berjalan naik dan turun tangga pada lintasan LOS diperoleh nilai *delay* terbesar dan terkecil berturut-turut pada bagian tangan dan dada yaitu sebesar 1235 nS dan 536.93 nS. Sedangkan untuk kondisi lintasan NLOS diperoleh sebaran *delay* terbesar dan terkecil berturut-turut pada bagian lutut dan tangan yaitu 1245 nS dan 890 nS.

Tabel 4.18 PDP dan Parameter *Delay* Skenario Berlari

Posisi Tx	Mean excess Delay ($\bar{\tau}$) dalam nS		RMS Delay (δ_{τ}) dalam nS	
	LOS	NLOS	LOS	NLOS
Dahi	774.40	1138	766.48	1125
Dada	509.77	1253	506.11	1234
Lengan	643.42	1197	635.40	1190
Tangan	739.70	896.2	727.61	883.5
Lutut	712.44	961.73	706.34	943
Kaki	1011	1299	997.6	1297

Selanjutnya untuk skenario objek beraktivitas berlari diperoleh nilai *delay* untuk lintasan LOS terbesar dan terkecil berturut-turut pada bagian kaki dan dada yaitu sebesar 1011 nS dan 509.77 nS. Sedangkan untuk kondisi lintasan NLOS diperoleh sebaran *delay* terbesar dan terkecil berturut-turut pada bagian kaki dan tangan yaitu 1299 nS dan 896.2 nS.

Tabel 4.19 PDP dan Parameter *Delay* Channel Model 4 (CM4) dengan Receiver pada Tubuh Manusia

Posisi Tx	Mean excess Delay ($\bar{\tau}$) dalam nS		RMS Delay (δ_{τ}) dalam nS	
	LOS	NLOS	LOS	NLOS
0.5 m	1125	1524	1113	1526
1 m	1206	1572	1200	1569
1.5 m	1342	1396	1329	1389
2 m	1146	1422	1140	1413

Selanjutnya untuk pengukuran Channel Model 4 (CM4) dengan skenario perubahan ketinggian antenna *transmitter* yang bervariasi hasilnya terlihat pada tabel. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa *delay* terbesar untuk kondisi lintasan LOS terjadi pada ketinggian transmitter 1.5 meter yaitu sebesar 1342 nS. Sedangkan *delay* terkecil untuk kondisi lintasan LOS terjadi pada ketinggian antenna 0.5 meter yaitu 1125 nS. Sedangkan untuk kondisi lintasan NLOS delay terbesar dan terkecil berturut turut pada ketinggian transmitter 1 meter dan 1.5 meter yaitu sebesar 1572 nS dan 1396 nS.

Tabel 4.20 PDP dan Parameter *Delay* Channel Model 4 (CM4) dengan Receiver Tiang Kayu

Posisi Tx	Mean excess Delay ($\bar{\tau}$) dalam nS		RMS Delay (δ_{τ}) dalam nS	
	LOS	NLOS	LOS	NLOS
0.5 m	974.45	1268	991.05	1260
1 m	905.02	1025	920.59	1020
1.5 m	998.23	1080	990.27	1065
2 m	912.44	1304	911.98	1389

Selanjutnya untuk pengukuran Channel Model 4 (CM4) dengan skenario perubahan ketinggian antenna *transmitter* yang bervariasi serta antenna receiver dipasang pada tiang kayu diperoleh hasil yang terlihat pada tabel 4.7. Hasil yang

diperoleh menunjukkan bahwa delay terbesar untuk kondisi lintasan LOS terjadi pada ketinggian transmiter 1,5 meter yaitu sebesar 998.23 nS. Sedangkan *delay* terkecil untuk kondisi lintasan LOS terjadi pada ketinggian antenna 1 meter yaitu 905.02 nS. Sedangkan untuk kondisi lintasan NLOS delay terbesar dan terkecil berturut turut pada ketinggian transmiter 2 meter dan 1 meter yaitu sebesar 1304 nS dan 1025 nS.

Pada pengukuran channel model 4 (CM4) dapat dibandingkan bahwa pengukuran dengan objek berupa tubuh manusia (*on body to external node*) dan pengukuran dengan tiang kayu diperoleh kecenderungan *pathloss* yang lebih besar pada pengukuran dengan objek tubuh manusia. Sedangkan nilai *delay* diperoleh kecenderungan yang lebih besar juga terjadi pada pengamatan dengan antenna *receiver* diletakkan pada tubuh manusia.

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

1. Pemodelan *pathloss* jaringan area tubuh nirkabel untuk link komunikasi *on body to on body surface* (CM3) menghasilkan nilai *pathloss* yang bervariasi, tidak sebanding terhadap jarak pemancar ke penerima dan besarnya dipengaruhi oleh aktivitas tubuh.
2. Pada Channel model 3 (CM3) diperoleh hasil sebaran *pathloss* pada kondisi tidak beraktivitas (LOS) terbesar adalah 75.63 dB pada bagian dahi, *pathloss* terkecil 58.54 dB pada bagian dada. Untuk lintasan NLOS diperoleh nilai *pathloss* terbesar 106.79 dB pada bagian dada dan nilai *pathloss* terkecil 74.3 dB pada bagian kaki.
3. Pada Channel model 3 (CM3) diperoleh hasil sebaran *pathloss* pada kondisi objek berjalan naik turun tangga (LOS) terbesar adalah 115.09 dB yaitu pada bagian lutut, *pathloss* terkecil 56.65 dB yaitu pada bagian dada. Untuk lintasan NLOS diperoleh nilai *pathloss* terbesar 127.59 dB yaitu pada bagian lutut dan nilai *pathloss* terkecil 118.26 dB pada bagian tangan.
4. Pada Channel model 3 (CM3) diperoleh hasil sebaran *pathloss* pada kondisi objek berlari (LOS) terbesar adalah 108.35 dB yaitu pada bagian kaki, *pathloss* terkecil 52.37 dB pada bagian dada. Untuk lintasan NLOS diperoleh nilai *pathloss* terbesar 129.87 dB pada bagian dahi dan nilai *pathloss* terkecil 97.95 dB pada bagian tangan.
5. Pada Channel Model 3 (CM3) jaringan area tubuh nirkabel diperoleh hasil semakin berat aktivitas yang dilakukan oleh bagian tubuh tertentu maka akan menghasilkan nilai *pathloss* yang besar serta sebaliknya, semakin ringan aktivitas yang dilakukan oleh bagian tubuh tertentu, maka *pathloss* yang dihasilkan akan semakin kecil.
6. Pada Channel Model 4 (CM) yaitu link komunikasi *on body to external node* menghasilkan nilai *pathloss* yang bervariasi. Nilai *pathloss* lebih besar jika dibandingkan dengan *link* komunikasi tanpa menggunakan media jaringan

tubuh. Selisih *pathloss* antara pengukuran dengan media jaringan tubuh dan media tiang kayu pada saat lintasan LOS adalah sekitar 25 dB hingga 30 dB, sedangkan untuk lintasan NLOS sekitar 50 dB hingga 60 dB.

7. Pada pemodelan PDP untuk link komunikasi baik *on body to body surface* maupun *on body to external node* didapatkan nilai PDP yang bervariasi dalam orde ratusan nS hingga mikro sekon, *delay* pada kanal tubuh tidak sebanding dengan jarak. Nilai delay maksimum yang didapatkan sebesar 3,6364 μ S.
8. Dari perhitungan parameter statistik diketahui bahwa model kanal jaringan area tubuh nirkabel cenderung pada model *flat fading* karena tidak terdapat perubahan kanal yang signifikan.

5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan pengambilan data yang lebih banyak dan penambahan skenario pengukuran kanal agar didapatkan hasil yang lebih lengkap dan variatif.
2. Pada penelitian selanjutnya perlu dipertimbangkan untuk penggunaan antena jenis lain dan pada frekuensi yang lain untuk memperkuat hasil penelitian ini.
3. Pada penelitian perlu dipertimbangkan untuk menambah jenis ruang pengukuran misalnya *indoor* dan *outdoor*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sukhraj Kaur and Dr. Jyoteesh Malhotra, "Survey on Empirical Channel Models for WBAN", *International Journal of Future Generation Communication and Networking*, Vol. 8, No. 2, 2015.
- [2] Rizal Nur Ibrahim, Wirawan, dan Eko Setijadi, "Pemodelan Kanal Pada Jaringan Area Tubuh Nirkabel Menggunakan Teknologi *Bluetooth*", *JURNAL TEKNIK ITS* Vol. 5, No. 2, 2016 ISSN: 2337-3539.
- [3] Yazdandoost and Sayrafian, "Channel Model for Body Area Network (BAN)", *IEEE P802.15 Wireless Personal Area Networks*, 2009.
- [4] Timo Kumpulainen, Tommi Tuovinen, Matti Hamalainen, Kanya Yekeh Yazdandoost, Risto Vuoltoniemi, Jari Linatti, "Measurement-Based On Body Path Loss Modelling for UWB WBAN Communications, 7th International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT)", 2013.
- [5] Martianda Erste Anggraeni, Puji Handayani, "Sistem Pengukuran Kanal Radio 2,4 GHZ Pada Domain Waktu Menggunakan Platform Software Defined Radio (SDR)", *Seminar Nasional : Sains, Rekayasa & Teknologi UPH*, 2015.
- [6] Miyuki Hirose, Hironobu Yamamoto, and Takehiko Kobayashi, "Statistical Modeling of On-Body Ultra-Wideband Channels Considering Surrounding Environments", *IEEE* 978-1-4673-0762-8/12, 2012.
- [7] Matti Hamalainen, Attaphongse Taparugssanagorn, Jari Linatti, "On the WBAN Radio Channel Modelling for Medical Applications", *EuCAP-Convened Papers*, 2011.
- [8] Rafiaele Di Bari, Qammer H. Abbasi, Akram Alomainy, and Yang Hao, "An Advanced UWB Channel Model For Bodycentric Wireless Networks", *Progress In Electromagnetics Research*, Vol. 136, 79/99, 2013..

- [9] Anming Gao, Hongli Peng, Jinlong Zou, Zhengxiao Cao, "Performance Of WBAN UWB System Based On The Measured On-Body Channel Model", *Proceedings of IEEE CCIS*, 2012.
- [10] Xiyu Lu, Xinlei Chen, Guang Sun, Depeng Jin, Ning Ge, and Lieguang Zeng, "UWB-based Wireless Body Area Networks Channel Modeling and Performance Evaluation", 978-1-4577-9538-2/11 IEEE, 2011.
- [11] Putrissa Damayanti, "Metode *Interference Cancellation* yang Efisien pada Jaringan Nirkabel Area Tubuh", JURNAL TEKNIK ITS Vol. 5, No. 2, 2017.
- [12] Kenichi Takizawa Takahiro Aoyagi Jun-ichi Takada Norihiko Katayama, "Channel Models for Wireless Body Area Networks", 30th Annual International IEEE EMBS Conference Vancouver, British Columbia, Canada, August 20-24, 2008.
- [13] Nazmi Rasyidin, "Rancang Bangun Antena *Microstrip Array* untuk Sistem Radar Berbasis *Software Defined Radio*" JURNAL TEKNIK ITS Vol. 5, No. 2, 2015.
- [14] Kenichi Takizawa, Takahiro Aoyagi, and Ryuji Kohno, "Channel Modeling and Performance Evaluation of UWB-based Wireless Body Area Networks", publication in the IEEE ICC proceedings, 2009.
- [15] Rafiaele Di Bari, Qammer H. Abbasi, Akram Alomainy, and Yang Hao, "An Advanced UWB Channel Model For Bodycentric Wireless Networks", *Progress In Electromagnetics Research*, Vol. 136, 79/99, 2013.
- [16] A. Khaleghi, I. Balasingham, "On Human Body Ultra Wideband Channel Characterizations for Different Wave Polarizations", Interventional Center,
- [17] Timo Kumpulniemi, Matti Hamalainen, Kamyar Yazdandoost, Jari Iinatti, "Measurements for Body-to-Body UWB WBAN Radio Channels", Centre for Wireless Communications, University of Oulu, Oulu, Finland.

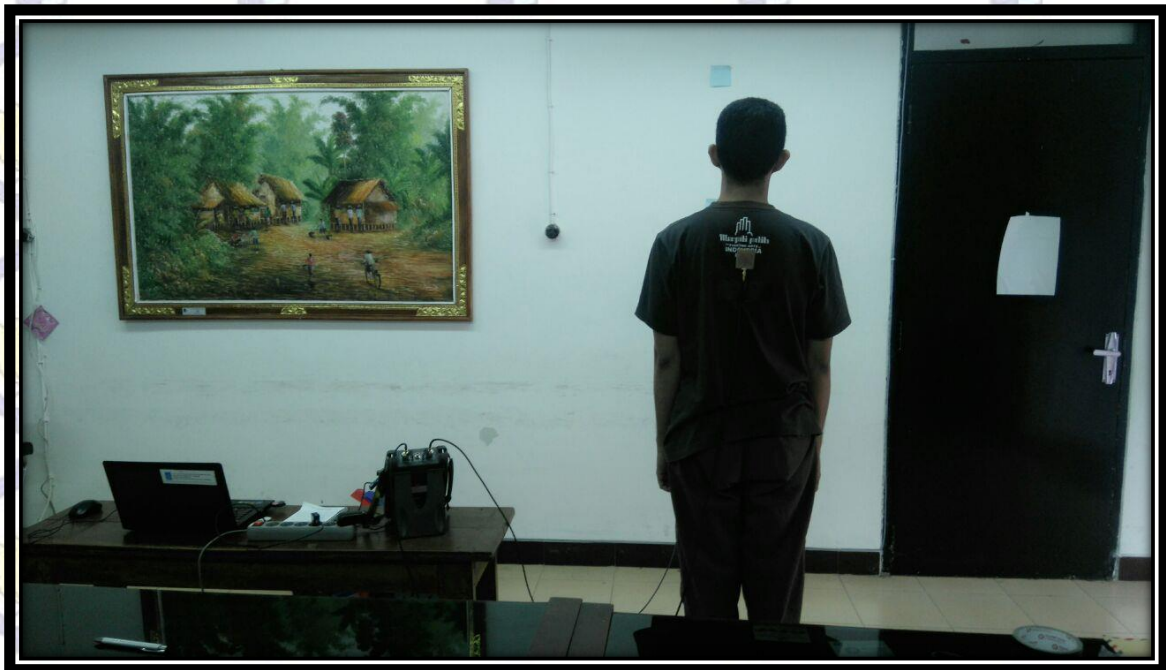
LAMPIRAN A

DOKUMENTASI PENGUKURAN

1. Pengukuran Channel Model 3 (CM3) Link Komunikasi On Body to Body Surface

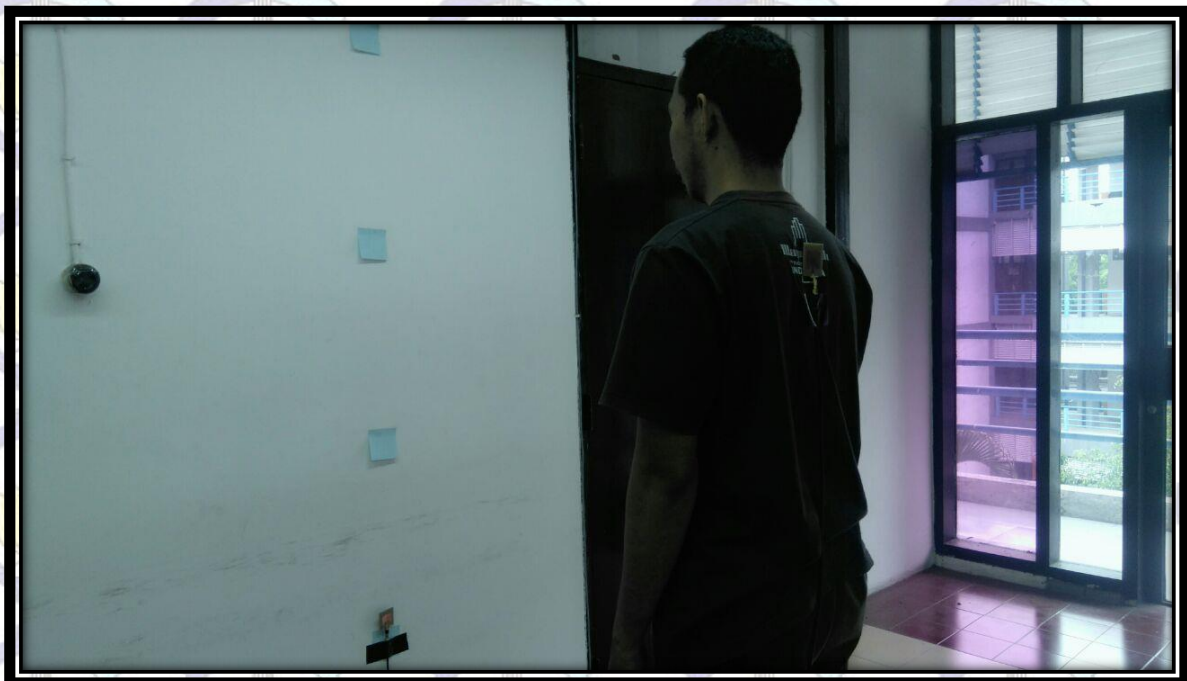


Gambar A.1 Posisi Pengukuran dengan Antena Pemancar (Tx) pada Dada dan Antena Penerima Rx pada Perut

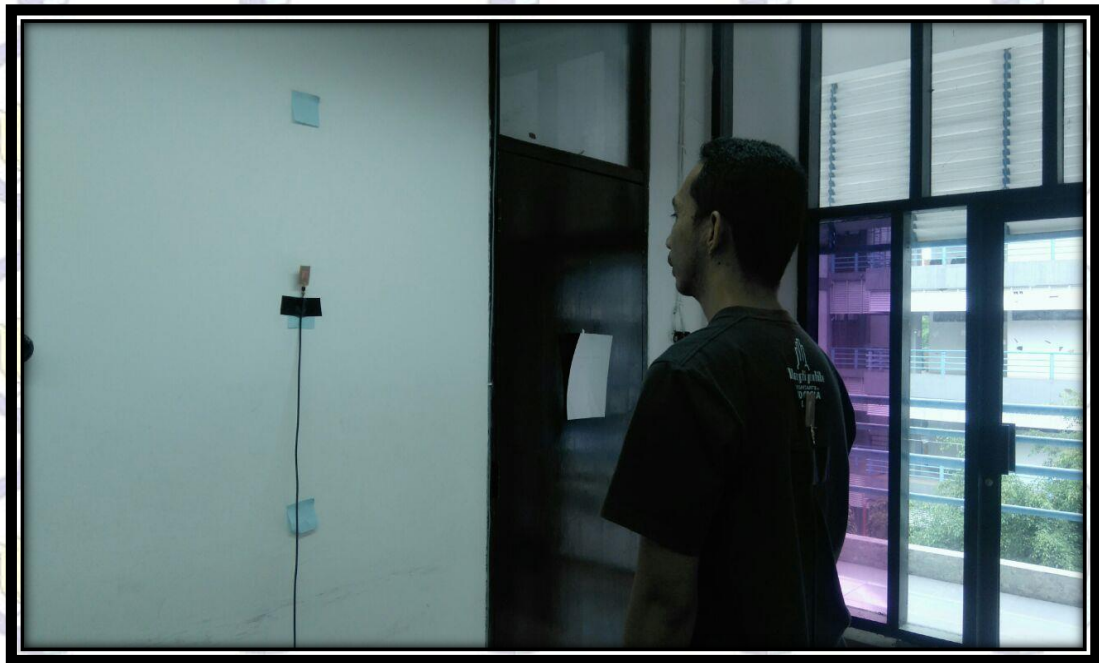


Gambar A.2 Posisi Alat Ukur dan Objek Pengukuran pada Pengambilan Data dengan Kondisi NLOS

2. Pengukuran Channel Model 4 (CM4) Link Komunikasi On Body to External Node



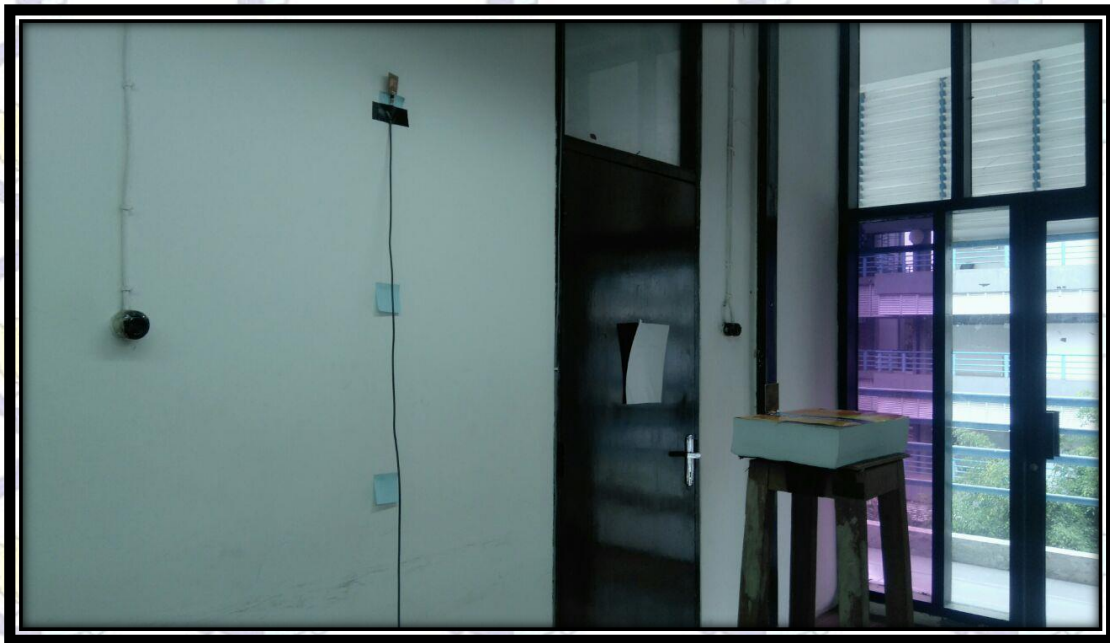
Gambar A.3 Posisi Objek Pengukuran Tubuh Manusia pada Pengambilan Data dengan Kondisi NLOS untuk *Channel Model 4* (CM4) dengan Ketinggian Tx 0.5m



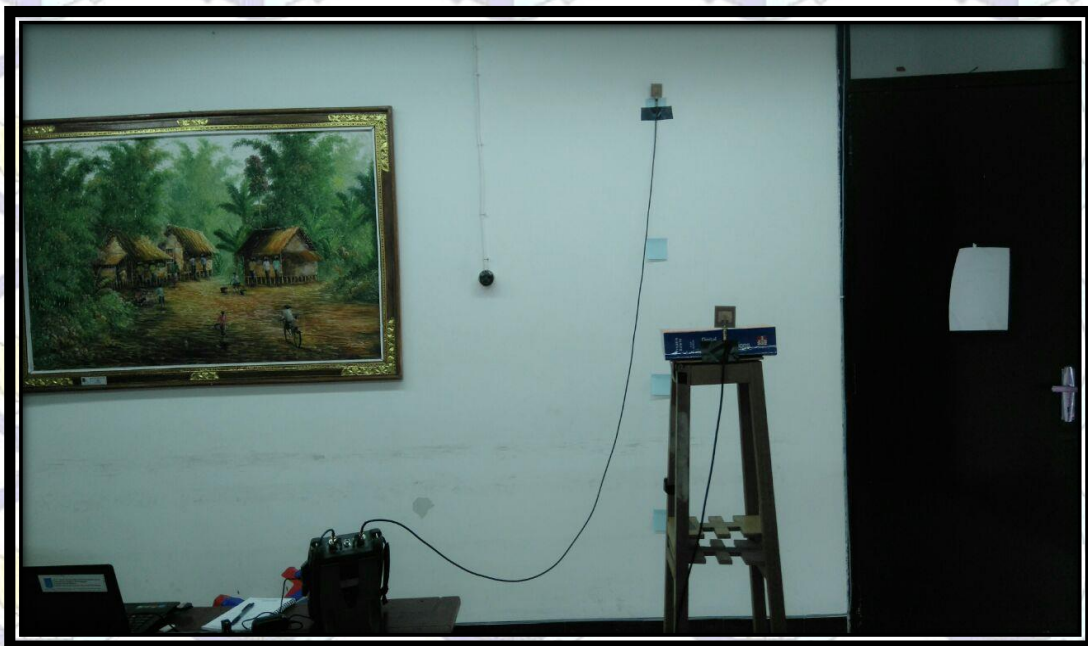
Gambar A.4 Posisi Objek Pengukuran Tubuh Manusia pada Pengambilan Data dengan Kondisi NLOS untuk *Channel Model 4* (CM4) dengan Ketinggian Tx 1.5m



Gambar A.5 Posisi Pengukuran dengan Media Tiang Kayu pada Pengambilan Data dengan Kondisi LOS untuk *Channel Model 4* (CM4) dengan Ketinggian Tx 1.5m



Gambar A.6 Posisi Pengukuran dengan Media Tiang Kayu pada Pengambilan Data dengan Kondisi LOS untuk *Channel Model 4* (CM4) dengan Ketinggian Tx 2m



Gambar A.7 Posisi Pengukuran dengan Media Tiang Kayu pada Pengambilan Data dengan Kondisi NLOS untuk *Channel Model 4* (CM4) dengan Ketinggian Tx 2m

LAMPIRAN B

LISTING PROGRAM MATLAB

1. Fungsi untuk Menghitung Pathloss

```
function PL = htg_pathloss(Ns,Nf,read)
%ubah ke skala linier
for m=1:Ns
    for n=1:Nf
        lin (n,m) = abs(10^(read(n,m)/10));
    end
end
%mencari path loss
jml = 0;
for k= 1:Ns
    for j= 1:Nf
        total_Nf = jml + lin(j,k);
        jml = total_Nf;
    end
    jml_perkolom (1,k)= jml;
end
```

2. Program untuk mencari Model Pathloss

```
clear all; clc;
%Inisialisasi
Ns= 5;
Nf= 413;
%Open folder
filename = 'berdiri_1.xls'; %definisi tujuan file
read = xlsread(filename); %read file
PL_1 = htg_pathloss(Ns,Nf,read)
filename = 'berdiri_2.xls'; %definisi tujuan file
read = xlsread(filename); %read file
PL_2 = htg_pathloss(Ns,Nf,read)
filename = 'berdiri_3.xls'; %definisi tujuanfile
read = xlsread(filename); %read file
PL_3 = htg_pathloss(Ns,Nf,read)
filename = 'berdiri_4.xls'; %definisi tujuanfile
read = xlsread(filename); %read file
```



```

PL_4 = htg_pathloss(Ns,Nf,read)
filename = 'kayu_1.xls';           %definisi tujuan file
read = xlsread(filename);          %read file
PL_k1 = htg_pathloss(Ns,Nf,read)
filename = 'kayu_2.xls';           %definisi tujuan file
read = xlsread(filename);          %read file
PL_k2 = htg_pathloss(Ns,Nf,read)
filename = 'kayu_3.xls';           %definisi tujuan file
read = xlsread(filename);          %read file
PL_k3 = htg_pathloss(Ns,Nf,read)
filename = 'kayu_4.xls';           %definisi tujuan file
read = xlsread(filename);          %read file
PL_k4 = htg_pathloss(Ns,Nf,read)
Hasil = zeros(4,2);
Hasil(1,1) = 3.09
Hasil(1,2) = PL_1;
Hasil(2,1) = 3.01
Hasil(2,2) = PL_2;
Hasil(3,1) = 3.01
Hasil(3,2) = PL_3;
Hasil(4,1) = 3.1
Hasil(4,2) = PL_4;
Hasil_k = zeros(4,2);
Hasil_k(1,1) = 3.09
Hasil_k(1,2) = PL_k1;
Hasil_k(2,1) = 3.01
Hasil_k(2,2) = PL_k2;
Hasil_k(3,1) = 3.01
Hasil_k(3,2) = PL_k3;
Hasil_k(4,1) = 3.1
Hasil_k(4,2) = PL_k4;
plot(Hasil(:,1),Hasil(:,2),'r*');
grid on;
hold on;
plot(Hasil_k(:,1),Hasil_k(:,2),'m*');
grid on;
hold on;
xlabel('Jarak (log / mm)'), ylabel('Pathloss (dB)');
title('GRAFIK PATHLOSS vs JARAK ');

```


3. Program untuk Menampilkan VSWR

```
clear all;
close all;
clc;
figure(1);
filename = 'vswr.xls'; %definisi tujuan file
vswr1 = xlsread(filename);
plot(vswr1(:,1),vswr1(:,2));
xlabel('Frekuensi (Hz)'), ylabel('nilai VSWR');
title('NILAI VSWR ANTENA MICROSTRIP');
```

4. Program untuk Menampilkan Magnitudo dan Phase

```
clear all;
close all;
clc;
figure(1);
filename = 'mgtd_phase.xls'; %definisi tujuan file
mgtd = xlsread(filename);
subplot(2,1,1);
plot(mgtd(:,1),mgtd(:,2));
grid on;
hold on;
xlabel('Frekuensi (Hz)'), ylabel('Magnitudo (dB)');
subplot(2,1,2);
plot(mgtd(:,1),mgtd(:,3));
grid on;
hold on;
xlabel('Frekuensi (Hz)'), ylabel('phase (derajat)');
```

5. Program untuk Menampilkan Model PDP

```
clear all;
close all;
clc;
filename = 'kakil.xls';
%definisi tujuan file
mgnt = xlsread(filename);
filename2 = 'fase_kakil.xls';
%definisi tujuan file
phase = xlsread(filename2);
% balik=flipud(read);
% balik2=flipud(read2);
```



```

delta_f=mgnt(2,1)-mgnt(1,1);
for k=1:5
    mgHf(:,k)=10.^(mgnt(:,k+1)/10);
    Hf((1:412),k)= mgHf((1:412),k).*exp(-
j*(phase((1:412),k))*(pi/180));
    Hf(413,k)=2*abs(mgHf(413,k)).*cos(phase(413,k))*(pi/180
);
    Hf((414:825),k)=mgHf((414:825),k).*exp(j*(phase((414:82
5),k))*(pi/180));
end
% menambahkan window hamming
n=0:824;
Wnt=0.54-0.46*cos(2*pi*n/824);
Wn = Wnt';
Hf_r= real(Hf);
Hf_i= imag(Hf);
Hwn1= Hf(:,1).*Wn;
Hwn2= Hf(:,2).*Wn;
Hwn3= Hf(:,3).*Wn;
Hwn4= Hf(:,4).*Wn;
Hwn5= Hf(:,5).*Wn;
% mengubah Hwn menjadi Ht
tau=linspace(0,1/delta_f,825);
Hwn = [Hwn1 Hwn2 Hwn3 Hwn4 Hwn5];
Ht1=(ifft(Hwn)); % sinyal kompleks
% Ht= ifftshift(Ht1);
Ht= Ht1;
Ht_r = real(Ht);
Ht_i = imag(Ht);
% mencari pdp
pdp1 = (abs(Ht(:,1)).^2);
pdp2 = (abs(Ht(:,2)).^2);
pdp3 = (abs(Ht(:,3)).^2);
pdp4 = (abs(Ht(:,4)).^2);
pdp5 = (abs(Ht(:,5)).^2);
pdp = [pdp1 pdp2 pdp3 pdp4 pdp5];
% Menampilkan Magnitude Sinyal dari S21 parameter
figure(1);
subplot(2,2,1);
plot(mgnt(:,1),mgHf(:,1),'r');
grid on;
hold on;

```



```

plot(mgnt(:,1),mgHf(:,2),'m');
grid on;
hold on;
plot(mgnt(:,1),mgHf(:,3),'b');
grid on;
hold on;
plot(mgnt(:,1),mgHf(:,4),'g');
grid on;
hold on;
plot(mgnt(:,1),mgHf(:,5),'c');
grid on;
hold on;
xlabel('Frekuensi (Hz)'), ylabel('Hbp(f)');
legend('snaps1','snaps2','snaps3','snaps4','snaps5');
% menampilkan Window Hamming
subplot(2,2,2);
plot(mgnt(:,1),Wn,'m');
grid on;
hold on;
xlabel('frekuensi(Hz)'), ylabel('wn(f)');
%menampilkan sinyal setelah windowing
subplot(2,2,3);
plot(mgnt(:,1),abs(Hwn1),'r');
grid on;
hold on;
plot(mgnt(:,1),abs(Hwn2),'m');
grid on;
hold on;
plot(mgnt(:,1),abs(Hwn3),'b');
grid on;
hold on;
plot(mgnt(:,1),abs(Hwn4),'g');
grid on;
hold on;
plot(mgnt(:,1),abs(Hwn5),'c');
grid on;
hold on;
xlabel('frekuensi(Hz)'), ylabel('Hlpw (f)');
legend('snaps1','snaps2','snaps3','snaps4','snaps5');
% Menampilkan pdp
subplot(2,2,4);
plot(tau,pdp1,'r');

```



```

grid on;
hold on;
plot(tau,pdp2,'m');
grid on;
hold on;
plot(tau,pdp3,'b');
grid on;
hold on;
plot(tau,pdp4,'g');
grid on;
hold on;
plot(tau,pdp5,'c');
grid on;
hold on;
xlabel('thau(nS)'), ylabel('pdp(thau)');
legend('snaps1','snaps2','snaps3','snaps4','snaps5');
Ns = 5;
Nf = 413;
magg = mgnt(:,2:6)
for m=1:Ns
    for n=1:Nf
        mag = ((abs(magg)).^2);
        excd = sqrt(((Ht.^2).*mag)./mag);
    end
    exdcs = sum(excd);
    exdc_r=real(exdcs);
    for m=1:Ns
        for n=1:Nf
            rmsd = sqrt(((Ht_r-(excd.^2)).*mag)./mag);
        end
    end
    rmsds = sum(rmsd);
    rmsd_r=real(rmsds);
    figure(2);
    subplot(3,2,1);
    % figure()
    plot(tau, abs(Ht(:,1)),'r');
    xlabel('thau(nS)'), ylabel('Ht(thau)');
    subplot(3,2,2);
    % figure()

```



```

plot(tau, abs(Ht(:,2)), 'm');
xlabel('thau(nS)'), ylabel('Ht(thau)');
subplot(3,2,3);
% figure()
plot(tau, abs(Ht(:,3)), 'b');
xlabel('thau(nS)'), ylabel('Ht(thau)');
subplot(3,2,4);
% figure()
plot(tau, abs(Ht(:,4)), 'g');
xlabel('thau(nS)'), ylabel('Ht(thau)');
subplot(3,2,5);
plot(tau, abs(Ht(:,5)), 'c');
xlabel('thau(nS)'), ylabel('Ht(thau)');
% Menampilkan nilai pdp tiap snapshot
filename = 'coba.xls';
%definisi tujuan file
pdpr = xlsread(filename);
subplot (3,2,6);
plot(mgnt(:,1),abs(Hf(:,1)), 'r');
grid on;
hold on;
plot(mgnt(:,1),abs(Hf(:,2)), 'm');
grid on;
hold on;
plot(mgnt(:,1),abs(Hf(:,3)), 'b');
grid on;
hold on;
plot(mgnt(:,1),abs(Hf(:,4)), 'g');
grid on;
hold on;
plot(mgnt(:,1),abs(Hf(:,5)), 'c');
grid on;
hold on;
xlabel('frekuensi (Hz)'), ylabel('Hlp(f)');
filename = 'coba.xls';
%definisi tujuan file
pdpr = xlsread(filename);
figure()
plot(tau,pdpr, 'm');
axis([0 3e-7 0 1.4e-11]);
xlabel('thau(nS)'), ylabel('pdp(thau)');
figure()

```



```

plot(tau, abs(Ht(:,1)), 'r');
grid on;
hold on;
plot(tau, abs(Ht(:,2)), 'm');
grid on;
hold on;
plot(tau, abs(Ht(:,3)), 'b');
grid on;
hold on;
plot(tau, abs(Ht(:,4)), 'g');
grid on;
hold on;
plot(tau, abs(Ht(:,5)), 'c');
grid on;
hold on;
xlabel('thau(nS)'), ylabel('Ht(thau)');
axis([0 3e-7 0 3.8e-6]);

```